T. 0439

Fauconnier p. 27

de proche en proche p. [illegible]

ns sommes manipulé par nos symboles p 107

UNIVERSITÉ AIX-MARSEILLE I — Université de Provence
U.F.R. : Psychologie et Sciences de l'Education
Centre de Recherche en Psychologie Cognitive (CREPCO UMR 6561)

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université Aix-Marseille I

Formation doctorale : Psychologie

Spécialité : Psychologie Cognitive

présentée et soutenue publiquement

par

Bruno VIVICORSI

le 22 décembre 1999

COPSYCAT
Une théorisation de la fluidité conceptuelle basée sur la perception d'analogies



sous la direction de

Mr le Professeur Claude BASTIEN

devant le jury :

M. **Claude Bastien** (Pr. à l'Université de Provence)	*Directeur*
M. **Jean-Paul Caverni** (Pr. à l'Université de Provence)	
M. **Jean-Emile Gombert** (Pr. à l'Université de Rennes II)	*Rapporteur*
M. **Pierre Livet** (Pr. à l'Université de Provence)	
M. **Charles Tijus** (Pr. à l'Université de Paris VIII)	*Rapporteur*

"Charlie! hurlaient les autres, donne-nous une idée!" Alors il faisait faire un tour à son chapeau (qu'il appelait sa calotte de méditation) et répondait : "Faites *comme ça*, les enfants!" Et il vous sortait les idées les plus géniales que vous ayez jamais entendues. Quel type!

Richard Matheson, 1951, tr. fr. 1999, p.60

REMERCIEMENTS

Un travail de thèse est un long travail. Ces remerciements me permettent de rendre à chacun la part qui lui revient dans son élaboration sous cette forme.

À Claude Bastien, dont j'espère continuer de colporter son savoir et la façon qu'il a de le transmettre, sans jamais l'imposer : rester un libre explorateur et apprendre à s'orienter. “Mon ami, mon maître”, dirait Serge Lama...
À Mireille Bastien-Toniazzo, toujours disponible, contribuant à chaque instant à faire de la salle 524 un endroit de réflexion et un endroit chaleureux, deux propriétés bien utiles pour un doctorant.

À Douglas Hofstadter, qui autant que j'ai pu en juger, par ses écrits, ses conférences ou de simples discussions ou messages, fait don de ses réflexions à qui souhaite les utiliser, sans restriction. Cette profonde qualité se double d'une modestie sur le développement desdites réflexions, qui m'ont en tout cas permis de dépasser les miennes, bien au-delà du domaine scientifique.
Qu'Helga Keller soit également particulièrement remerciée pour sa gentillesse.

À Gilles Fauconnier, pour des discussions aussi pertinentes que joyeuses et des encouragements toujours opportuns.

Au CREPCO, j'ai pu bénéficier des compétences de Nathalie Bonnardel, de Louis Bourrelly, d'Evelyne Cauzinille-Marmèche, d'André Didierjean, d'Abdessadek El Ahmadi, d'Aline Pélissier et de Thierry Ripoll, qu'ils en soient tous remerciés, mais surtout : qu'ils ne croient pas que la fin de la thèse signifie la fin de l'utilisation de leurs compétences...
Les compagnons de route ne peuvent être oubliés, en particulier David Cayol, Thierry Olive, Martial Polge et Xavier de Viviés pour leurs conseils précis (et pour une complicité certaine...), mais aussi Céline Asmussen, Marie-Laure Barbier, Denis Besnard, Lucile Cacitti, Magali Marzo, Guylaine Molina, Stéphanie Montoya, Bénédicte Prieur, Florence Quelen et Pierre Thérouanne.

Des personnes plus ou moins extérieures au laboratoire m'ont également permis soit d'affiner mes conclusions — Jean-Marc Bernard, Bruce Burns, Camilo Charron, Antoine Cornuéjols, Claude Flament, Todd Lubart, Jean-Louis Pédinielli, Pierre-Yves Raccah Jean-Marie Souriau —, soit de me permettre de les exposer — Jean Christofol, Jean-Louis Le Moigne, Jean-Sylvain Liénard —, soit encore de simplement m'encourager —

Gérard Amy, Evelyne Clément, Philippe Minh, Emmanuel Sander, Alain Tête, André Tricot et Monique Vion.

Ce travail n'aurait probablement pas cette forme si je n'étais pas entouré de personnes sur qui l'on peut toujours compter :
Au CREPCO ou à l'U.F.R., je tiens à remercier Michèle Chambert, Anne Debray-Decory, Annick Dussol, Roland Fournier, Jean-Claude Gédin, Guy Génin et Josiane Payen, tous terriblement efficaces...
Dans mon entourage, François Antoni, Sébastien Cart, Carine Ciccotti, Francis Collet, Raphaèle Collet, Lysianne Detey, Elisabeth Roux et Christophe Schmeltzer ont permis que je puisse à la fois être fier du travail accompli et avoir des doutes argumentés sur ce même travail : ils ont ainsi contribué à définir ma compétence et ses limites... qu'il est bon de connaître pour pouvoir les dépasser.

Merci également aux membres du jury pour l'évaluation de ce travail : Jean-Emile Gombert et Charles Tijus, qui ont accepté la tâche décisive d'en être les rapporteurs, Jean-Paul Caverni et Pierre Livet à qui je dois déjà beaucoup, des conditions dans lesquelles j'ai effectué cette thèse aux échanges scientifiques, culturels et parfois littéraires toujours enrichissants.

Enfin, un merci exemplaire à mon entourage familial, toujours attentif ou effacé lorsque besoin était : mes parents, Mémée, Sabine, Pierre, Monique, Jean-François, Alexandre, Guillaume, Alban, Marianne... sans oublier Anahë.

À B.M.

SOMMAIRE

INTRODUCTION :
UNE THÉORISATION DE LA FLUIDITÉ CONCEPTUELLE

> L'avenir nous dira si la branche sur laquelle j'ai choisi de travailler est une branche robuste.
>
> Douglas Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.630

Ce projet est né en grande partie de la lecture de Douglas Hofstadter. Nous avons découvert les problèmes d'analogies créatives (problèmes d'analogies à plusieurs solutions) par le biais d'un ouvrage de Daniel Defays (1988) sur l'intelligence artificielle, qui a passé un an dans le laboratoire d'Hofstadter en 1982. La lecture de ce livre nous a profondément interrogé sur la nature des processus impliqués lorsque l'individu doit résoudre des problèmes qui n'ont pas d'unique bonne réponse : les envisage-t-il toutes ? Comment les sélectionne-t-il ? Peut-il les évaluer ?

Les modèles de l'intelligence artificielle de l'école hofstadterienne répondent en partie à cette question, mais bien qu'ils soient au départ élaborés à partir d'une réflexion sur les mécanismes créatifs chez l'homme, ces modèles n'ont jamais véritablement été utilisés comme cadre théorique à une recherche psychologique. Le projet COPSYCAT a ainsi pour objectif d'évaluer la pertinence psychologique des mécanismes implémentés dans un de ces modèles, COPYCAT, programme qui résoud des problèmes d'analogies créatives en étant capable de fournir plusieurs réponses au même problème. Il s'appuie sur la notion de glissement conceptuel proposée en 1981 par Hofstadter, et postule l'existence de deux mécanismes permettant une fluidité conceptuelle (*i.e.*, une adaptation conceptuelle à une situation pouvant être perçue de différentes façons) : un mécanisme de perception de haut niveau et une boucle perception-conceptualisation.

Dans la section **1**., nous définissons un *cadre théorique de la fluidité conceptuelle*. N'étant pas satisfait de la définition du terme "concept", nous nous appuyons sur la notion des glissements conceptuels pour *définir le concept* comme étant ce qui émerge lorsque deux objets ou situations sont perçus comme analogues. Nous pouvons ainsi définir psychologiquement *l'analogie comme un lien entre concepts*, puis entre connaissances lorsque s'élaborent nos réseaux de connaissances. Nous concluons sur le rôle fondamental de la perception d'analogies, en matière d'élaboration de concepts et de connaissances mais aussi dans la recherche d'une solution adaptée à une situation

problématique. Ce faisant, nous montrons *l'ubiquité de la fluidité conceptuelle* dans notre vie quotidienne, dont l'étude ne peut être ignorée en psychologie.

Dans la section **2**., nous critiquons certains des travaux liés à la compréhension de cette capacité ubiquitaire à nos activités cognitives, en particulier les travaux portant sur l'étude de la catégorisation et l'étude du raisonnement par analogie. Nous prônons alors *une démarche expérimentale à suivre* lorsque l'étude menée porte sur la fluidité conceptuelle, et certains *critères de sélection des théories et modèles* qui doivent en rendre compte.

Dans la section **3**., nous montrons à ce titre *la pertinence du projet COPYCAT* à la fois pour sa présentation d'un monde idéalisé où les glissements conceptuels sont facilement étudiables, et pour le modèle élaboré pour en rendre compte. Nos propos s'accompagnent d'une réflexion sur ce que doit apporter la modélisation et à quoi l'évaluation d'un modèle en psychologie doit s'attacher.

La section **4**. représente notre contribution expérimentale à l'évaluation des mécanismes implémentés dans le modèle COPYCAT. Nous avons tenu à respecter les critiques formulées en section **2**. concernant la démarche expérimentale adéquate à adopter pour l'étude de la fluidité conceptuelle. Nous concluons sur *la pertinence psychologique des mécanismes postulés*, *i.e.* la perception de haut niveau et la boucle perception-conceptualisation.

Enfin, la section **5**. généralise nos résultats obtenus sur un micro-monde mais supposés mettre en évidence des mécanismes généraux de la fluidité conceptuelle. La perception d'analogies impliquée dans la résolution des problèmes est compatible avec l'élaboration des connaissances par lesquelles nous mettons en œuvre un raisonnement. Par conséquent, nous défendons un cadre unificateur des résultats obtenus dans l'étude du raisonnement, en définissant le raisonnement comme une *succession de filtres à analogies*. Nous pensons alors qu'*une théorie analogique du raisonnement* doit être possible, pouvant unifier les différents résultats du domaine et intégrer l'effet des différents facteurs au niveau de ces filtres.

1. La fluidité conceptuelle : Concepts fluides et perception d'analogies

> Ce livre a son lieu de naissance dans un texte de Borges. [...] Ce texte cite "une certaine encyclopédie chinoise" où il est écrit que «les animaux se divisent en : a) appartenant à l'Empereur, b) embaumés, c) apprivoisés, d) cochons de lait, e) sirènes, f) fabuleux, g) chiens en liberté, h) inclus dans la présente classification, i) qui s'agitent comme des fous, j) innombrables, k) dessinés avec un pinceau très fin en poils de chameau, l) et cætera, m) qui viennent de casser la cruche, n) qui de loin semblent des mouches». Dans l'émerveillement de cette taxinomie, ce qu'on rejoint d'un bond, ce qui, à la faveur de l'apologue, nous est indiqué comme le charme exotique d'une autre pensée, c'est la limite de la nôtre : l'impossibilité nue de penser *cela*.
>
> Michel Foucault, 1966, p.7

A mon retour de Povo, en Italie, où j'avais séjourné en juin 1997, un jeune couple français se trouvait en face de moi dans le train. Le garçon expliquait à la fille, avec une passion non dissimulée, pensant sans doute que j'étais italien et que je ne comprenais pas le français, le fonctionnement d'un jeu vidéo qu'il avait testé et qui ressemblait au *Tétris* (un jeu dans lequel il faut assembler de façon cohérente des briques pour les détruire avant qu'elles ne remplissent l'écran). Au bout d'un moment, n'ayant pas encore fait allusion au jeu pré-cité, et voyant que la fille n'arrivait pas à saisir le but du jeu, il lui dit une phrase que j'ai trouvé admirable de par son pouvoir "explicatif" : «Tu vois le jeu, c'est comme Tétris, mais c'est pas du tout pareil!». Et il m'a semblé que cette "explication" opérait...

Cette situation met en évidence ce qu'il est convenu d'appeler la *fluidité conceptuelle*, c'est-à-dire la puissance de compréhension dont tout un chacun peut faire preuve face à des énoncés ou des situations qui exigeraient, si l'on souhaite les analyser dans le détail, de nombreuses précisions sémantiques.

Dans un premier temps, nous montrons pourquoi ces entités doivent être fluides pour être efficaces. La notion de "glissements conceptuels", développée par Douglas Hofstadter (1981), appuie cette démonstration et permet une définition plus rigoureuse de ce qu'est un concept et de la fluidité conceptuelle.

Nous verrons ensuite que la présence de ces glissements relève de notre capacité à percevoir des analogies. Après avoir rappelé quelques travaux pertinents pour notre propos et relevant de l'étude de la perception, la notion d'analogie sera explicitée. L'utilité de la perception d'analogies sera alors présentée, dans des domaines comme l'apprentissage, la catégorisation ou la créativité.

Nous concluons enfin sur le bien-fondé d'une étude de la fluidité conceptuelle, en évoquant son existence dans de nombreuses activités que nous réalisons quotidiennement, artistiquement ou scientifiquement. Nous soulignons alors que cette fluidité doit être supportée par une architecture cognitive qui permette ces concepts fluides pour pouvoir en rendre compte.

1.1. Des concepts fluides

Il semble outrageant de le dire, mais, du point de vue où je me place, le mot de *concept* ne signifie rien d'autre que *ce que quelqu'un a dans la tête*. Pour dire ce qu'est ce quelque chose, il me faudrait regarder dans la boîte noire, ce que je cherche à éviter. Je ne puis donc le dire. Ce que je me demande plutôt, c'est si ceux qui regardent dans la boîte noire se posent cette question.

Umberto Eco, 1997, tr. fr. 1999, p.146

L'exemple du couple peut être critiqué. Le garçon pouvait utiliser d'autres termes, ou faire lire un mode d'emploi à son amie. Mais il a procédé autrement à ce moment-là. Pourquoi est-il possible de prendre ainsi des raccourcis sémantiques alors que nous avons, si ce n'est la compétence, au moins la possibilité d'exprimer verbalement tout ce qu'il faut savoir pour comprendre le fonctionnement du jeu ou de n'importe quoi d'autre ?

La réponse réside dans le fait que le monde qui nous entoure, dans lequel nous vivons et évoluons, vit et évolue de même. Que l'on prenne pour exemples la relation prédateurs-proies, où des exemples plus proches de nous, comme le fait de se garer dans un parking, il faut dans le premier cas que la proie sache reconnaître le prédateur d'une façon suffisamment large pour pouvoir survivre — il en va de même pour le prédateur qui ne peut survivre dans le cas où il ne reconnaitrait sa proie que lorsqu'il la voit de face en fin de soirée; dans le second cas, un parking ressemble et ne ressemble pas à un autre — cela ne nous empêche pas de les utiliser d'une façon similaire.
Aussi, les organismes vivants se sont adaptés à leurs environnements respectifs. Cette survie nécessite que l'on puisse "conceptualiser" une situation, un prédateur, un parking d'une façon qui soit suffisamment souple pour que notre action soit bénéfique pour nous, *toute chose égale par ailleurs*.
Ces exemples sont triviaux. Le simple cheminement tous les matins effectué pour se rendre à l'Université montrerait probablement une infinité d'éléments différents d'un matin à l'autre, mais qui sont "rangés dans les mêmes cases de notre esprit" pour aboutir au but fixé : se rendre à l'Université. Cette dynamique continue du changement environnemental incite à considérer que les conceptualisations que nous opérons sur les éléments de cet environnement ne peuvent être fixées pour chaque situation susceptible d'apparaître lorsque nous agissons. Ainsi, les concepts doivent être définis de manière à rendre possible une adaptation conceptuelle toujours nécessaire pour nous permettre de "comprendre" cet environnement et d'y être adaptés.

Entendons-nous donc sur une telle définition. Les concepts doivent être *fluides* pour que l'on puisse s'adapter à un environnement qui n'est jamais stable. Après avoir exposé et critiqué les différentes (tentatives de) définitions de la notion de "concept" dans la littérature, des exemples de *glissements conceptuels* seront évoqués. Ces exemples rendent perceptibles les difficultés rencontrées par rapport aux définitions précédentes, et nous permettront d'adopter une définition de ce qu'est un concept.

1.1.1. Qu'est-ce qu'un concept ?

Cette question, posée entre autres par Albert Shalom en 1959 dans un article qui porte ce titre, ne reçoit pas de réponse consensuelle aujourd'hui, bien que le terme *concept* soit abondamment utilisé dans la littérature du domaine (voir en particulier Laurence & Margolis, 1999, pour une revue détaillée et semble-t-il exhaustive des différentes approches et de leurs inconvénients). Shalom clarifie la question ainsi : «le simple fait de pouvoir dire "Cela, c'est une rivière", "Ceci, c'est un arbre" signifie que, pour celui qui parle, la réalité comprend au moins des choses comme des rivières et des arbres. Or, le mot "concept" se réfère au terme ou au groupe de termes qui caractérise un "ceci" ou un "cela". Et la question "Qu'est-ce qu'un concept ?" réclame des précisions concernant le procédé par lequel nous caractérisons un "ceci" ou un "cela"» (Shalom, 1959, p.445).

Une définition pratique : le concept est un mot

Si l'on essaie de décrire les propriétés d'un objet comme "chaise" pour comprendre ce qui fait que cette chaise devant moi appartient bien à l'ensemble des chaises, la question devient "Qu'est-ce qu'une chaise ?" et laisse sans réponse satisfaisante la première à propos du concept de chaise. Dans ce cas, le concept (du latin *concipere*, contenir) devient le nom d'un ensemble d'éléments que l'on assimile à une même catégorie en fonction de propriétés communes. Le concept est alors ce qui désigne, ce qui nomme — *i.e.*, un *mot*. Ainsi, la difficulté à caractériser le "ceci" ou le "cela" évoqués plus haut n'apparaît pas lorsque l'exemple privilégié est celui du concept CHIEN (Vivicorsi, 1997), comme c'est le cas dans de nombreuses études. En fait, le concept CHIEN est souvent différencié du mot "chien" dans un texte par une simple différence typographique — comme nous venons de le faire — tout en considérant qu'elle n'est pas la seule.

Pourtant, si l'on prend comme exemple la notation utilisée par Jerry Fodor (1998), ROUGE nomme le concept qui exprime *la rougeur* ou *la propriété d'être rouge*, et "rouge" est le nom du mot en français. Ce sont donc *apriori* deux termes différents. Mais la valeur sémantique attribuée aux deux termes est rigoureusement la même : ROUGE exprime la

propriété d'*être rouge* et "rouge" exprime la propriété d'*être rouge*... Cette gêne perçue dans cette notation n'est-elle dûe qu'à la notation elle-même ? Nous ne croyons pas. Richard et Richard (1992, p.431) posent la question en ces termes: «Qu'est-ce qu'un concept dans l'esprit du sujet et comment pouvons-nous décrire un concept d'une façon pertinente, pour exprimer le savoir d'un sujet concernant ce qu'il sait des objets auxquels il applique le même nom ?». Cette question est légitime, mais se heurte au problème de savoir si le mot utilisé réfère au concept que l'individu souhaite transmettre par ce mot. Comme le rappelle Britt-Mari Barth (1993, p.276), «le mot n'est qu'un code, *une étiquette*, un symbole arbitraire qui *désigne la chose* elle-même». George Miller (1996; voir aussi Ortony, 1988) rappelle qu'un concept peut être exprimé par plusieurs mots ou par une phrase, ce qui rend la correspondance 'un mot—un concept' caduque. Bien sûr, les concepts partagés dans différentes cultures sont considérés comme universels face à la variabilité des signes linguistiques (Rastier, 1991a), mais nous revenons, par ce rapport entre le concept et le mot, à une simple désignation, pouvant être polysémique, mais restant limitée à un certain périmètre sémantique autorisé linguistiquement et/ou culturellement — bref, un périmètre partagé par une communauté[1].

Une définition classique : le concept est une définition

Dans une vision classique, les concepts étaient considérés comme des *définitions*. Chez Aristote, par exemple, les objets sont regroupés sur la base de propriétés qu'ils partagent et sont ordonnés en classe. Mais la théorie d'Aristote est une théorie de la connaissance scientifique (Pacherie, 1993). En appliquant cette classification logique dans une perspective psychologique, le concept de *grand-mère* possèderait alors deux propriétés nécessaires : "être féminin" et "être parent d'un parent", et quelqu'un possédant ces deux propriétés *doit être* une grand-mère. Un objet est alors catégorisé comme exemple d'un concept si et seulement si il contient les propriétés définitoires du concept (Smith, E. 1989).

Le problème, comme le dit Fodor, est le suivant : «les concepts *ne peuvent pas être* des définitions car la plupart des concepts *n'ont pas* de définitions» (1994, p.104). Prenons l'exemple donné par Wittgenstein (1953, p.171) :

> Réfléchissez, par exemple, à ce que nous appelons des "jeux". Je veux parler des jeux avec échiquier, des jeux de cartes, des Jeux Olympiques, etc. Qu'ont-ils en commun ? — Ne répondez pas, «Ils *doivent* avoir quelque chose en commun, sans quoi nous ne les

[1] Plus poétiquement, Jorge Luis Borges dit, dans une de ses nouvelles, que «les mots sont des symboles qui postulent une mémoire partagée» (1955, tr. fr. 1978/1998, p.55). Roger Caillois, quant à lui, dans son chapitre sur le sens des mots, montre qu'une *contagion* se développe : «les mots [sont] employés non pour le sens qu'ils ont, mais pour l'effet qu'ils font» (1948/1996, p.266).

appellerions pas "jeux" — mais *cherchez vraiment* ce qu'ils peuvent avoir de commun. Car ce que vous trouverez, si vous les examinez, ce n'est pas un élément commun à tous, mais une longue série de similitudes et de relations».

Si *grand-mère* semble réductible à deux propriétés[2], cette réduction est au pire impossible, au mieux arbitraire. Murphy et Medin (1985) ont par exemple démontré que les prunes et les tondeuses à gazon partagent une multitude de propriétés communes (elles pèsent moins d'une tonne, elles sont dans le système solaire, elles n'entendent pas, elles ne voient pas, elles peuvent être déplacées, etc.).

Par ailleurs, l'*essentialisme psychologique* (voir, par exemple, Medin & Ortony, 1989), considère que les individus agissent comme si l'objet possède une essence ou une nature sous-jacente qui fait de l'objet ce qu'il est. Plus important encore, cette conception se réfère non pas au monde en tant que tel, mais au monde subjectif des individus. Ces derniers effectueraient des jugements de similitude entre représentations d'objets en fonction de leurs traits de surface, ces traits étant contraints voire générés par des propriétés plus profondes. Ceci permet une flexibilité inter-individuelle, mais trop limitée en raison du rôle toujours (trop) important joué par les propriétés dont la somme ne suffit pas à définir un concept (Pacherie, 1996).

Une définition moderne : le concept est un prototype

Un objet peut appartenir *plus ou moins* à la catégorie délimitée par ces propriétés (Rosch, 1973; voir Dubois, 1991a). Pour la catégorie *fruit*, par exemple, "pomme" est le meilleur exemplaire et "olive" le moins représentatif. Ces effets (prototypiques) ne peuvent être expliqués par la conception classique selon laquelle les objets sont considérés comme équivalents à l'intérieur d'une même catégorie : tous les exemples du concept possèdent les propriétés définitoires requises (Medin, 1989).

La fréquence des propriétés rendrait alors compte du choix d'un élément comme prototypique — *i.e.*, qui représente le mieux la catégorie — si ce dernier possède les propriétés qui sont partagées par le plus d'éléments de la catégorie. Le concept est alors considéré comme le *prototype*, c'est-à-dire l'ensemble des propriétés les plus saillantes. Par exemple, le prototype de *oiseau* contient les propriétés "il vole", "il est petit", "il chante", "il vit dans les arbres" et "il mange des insectes" (Smith, E. 1989). Ainsi, un rouge-gorge est un oiseau typique, un pigeon l'est modérément, une autruche pas du tout.

[2] Nous ne pouvons nous empêcher avec cet exemple de nous rappeler le personnage de la série *Chapeau melon et bottes de cuir* qui se faisait appeler Mère-grand, et qui n'était ni féminin, ni parent de parent... Nous reviendrons sur ce type de "glissement" au **1.1.2.**.

Toutefois, cette conception, considérant les concepts comme non sensibles au contexte, reste insuffisante. En effet, non seulement le prototype est reconnu comme étant le meilleur exemplaire, mais il doit être le même pour tout le monde et ne pas correspondre à une individuation particulière — "pomme" ne correspondant pas à la pomme que j'ai devant moi (Kleiber, 1991). Pourtant, les éléments d'une même catégorie peuvent être différemment ordonnés sur une échelle de typicité en fonction du contexte (voir, par exemple, Tversky, 1977; Barsalou & Medin, 1986; Barsalou, 1987; Smith, L., 1989; Tenenbaum, 1997). Prenons un contexte de laitage : la vache et la chèvre y sont plus typiques que le cheval et la mule, et inversement dans un contexte de chevauchée. Le point de vue culturel induit également des différences : le rouge-gorge et l'aigle sont des oiseaux typiques dans une culture américaine, alors qu'un point de vue chinois favorisera le cygne et le paon.

Du concept à la catégorie : le concept est une catégorie

Ainsi, l'organisation catégorielle s'effectuerait entre les membres d'une même catégorie, non plus par le partage de propriétés, mais par le partage d'un air de famille — en d'autres termes, par le partage au moins chez deux membres d'une même propriété. Ce n'est donc plus la distance entre l'élément et le prototype qui autorise l'appartenance catégorielle, mais les liens communs entre deux membres d'une catégorie. Un exemple nous est donné par Kleiber (1991, s'appuyant sur Lakoff, 1987) : en Dyirbal, langue aborigène d'Australie, quatre termes précèdent certains mots du langage; si l'on prend le terme "bayi", il précède les hommes (mâles), les kangourous, les opossums, les chauve-souris, la plupart des serpents, la plupart des poissons, quelques oiseaux, la plupart des insectes, la lune, les tempêtes, l'arc-en-ciel, les boomerangs, certains javelots, etc. Inutile de chercher le prototype de cette catégorie. En revanche, Lakoff montre que ce regroupement n'est pas arbitraire et que chaque membre est relié à un autre par une propriété commune, comme le fait que dans les mythes, la lune symbolise souvent le mari, donc partage un trait commun avec l'homme[3].

Cette mise en garde contre la non fixité de la place des éléments à l'intérieur d'une même catégorie entraîne le problème des expériences sur la catégorisation (nous y reviendrons dans la section **2**.). Mais les concepts dont il est question jusqu'ici sont toujours apparentés à des étiquettes, représentant une collection de propriétés typiques (le

[3] Que ce rassemblement ne soit pas arbitraire, nous en convenons; qu'il soit possible de faire une liste exhaustive des liens pris en compte qui font que ce rassemblement existe pour les aborigènes nous semble en revanche très improbable. Eco (1997, tr. fr. 1999, pp.203-204) ajoute que les quatre termes, selon Lakoff (1987), qui s'appuie lui-même sur d'autres recherches, n'ont plus cette fonction originelle : "bayi" ne précède plus que les hommes et les êtres animés non humains, ce qui pourrait s'expliquer par une influence du système pronominal anglais sur les aborigènes.

prototype) ou représentant une catégorie (*oiseau*, par exemple). Plus encore, l'exemple de Lakoff — comme celui de Borges (*cf.* la citation de Foucault en début de section) — rendent très improbable la possibilité de définir un concept lorsque l'on s'intéresse aux catégories. Eric Margolis (1994) relève à ce propos la confusion qui peut rapidement se produire entre concepts et catégories, et Danièle Dubois (1991b, p.19) rappelle que «la distinction entre catégories, concepts, signifiés, représentation cognitive, image mentale... est ainsi non clairement posée par Rosch et laisse ouverte des interprétations diverses...» (voir aussi Rastier, 1991b)[4].

Deux remarques peuvent ainsi être faites : (1) une catégorie, en plus de n'être que partielle, est contextuelle ; (2) même si les rassemblements d'éléments hétérogènes sont rares (ce qu'il reste à démontrer), ils doivent être *possibles*.

Concepts ou catégories : le problème des frontières

En conséquence, la critique adressée à la conception classique — *i.e.*, l'absence de définition stricte pour de nombreux concepts — peut se reposer en s'interrogeant sur l'existence d'une délimitation stricte des catégories.

Andrew Ortony (1997) met en garde contre le danger du découpage catégoriel effectué par les chercheurs : prenant l'exemple d'une métaphore qu'il empruntait à Amos Tversky[5], il insistait sur le fait que l'individu face à une métaphore ne fait pas l'analyse exhaustive que fait le chercheur pour saisir le sens enfoui *dans* la métaphore — il la comprend plutôt sans effort. Par contre, le chercheur, quand il souhaite expliquer le processus de compréhension, le rend sans doute plus compliqué qu'il ne l'est pour l'individu. En conséquence, il défendait l'idée que les catégories strictes, dans la "vie réelle", sont extrêmement rares. La question est alors la suivante : une catégorie peut-elle être considérée comme une classe ou un ensemble fermé ? Si c'est le cas, une catégorie ne peut pas être un concept, car nous revenons à la conception classique du concept comme définition.

Sainsbury (1990; voir aussi Michalski, 1989; Aitchison, 1997) défend ainsi l'aspect *vague* des concepts et leur absence de frontière : il est naturel, dit-il, d'établir une césure entre ce qu'un concept inclut et ce qu'il exclut, donc de placer une frontière autour du concept. Mais si l'on prend de nouveau l'exemple de ROUGE (ou de CHIEN), ce qui ne l'est pas n'est pas sans importance pour appréhender le concept sous-jacent : savoir qu'un

[4] Nous ajoutons que ces confusions restent largement répandues et même étendues — Frank Keil (1987, p.175) parle, par exemple, de «catégories conceptuelles» et de «prototypes conceptuels» — et la liste est longue... à quand un 'catécept' ou une 'congorie' ?

[5] La métaphore est la suivante : la radio entre Moscou et Leningrad est comme un chien qui aurait sa tête à Moscou et sa queue à Leningrad, mais sans le chien.

objet n'est pas rouge participe à notre compréhension du concept ROUGE. Nous pensons que la difficulté à définir un concept provient de cet absence de frontières précises : nous supposons des frontières alors que l'aspect vague[6] d'un concept nous offre la liberté sémantique permettant de l'adapter à plusieurs situations. Ainsi, à la question "pourquoi les concepts n'ont pas de frontières ?", Hofstadter répond : c'est pour qu'ils puissent *glisser*.

1.1.2. La notion de 'glissements conceptuels'

Hofstadter (1981) prend l'exemple du concept de PREMIÈRE DAME. Les américains en parlent en termes de "femme du président" (*i.e.*, Nancy Reagan dans les années en question), mais lorsque l'on passe dans une autre situation, en l'occurrence dans un autre pays, on constate que certains canadiens de l'époque ont tendance à évoquer plutôt l'"ex-femme du premier ministre" (Margaret Trudeau) comme jouant ce rôle. En Angleterre, cela pouvait être le "premier ministre" (qui était une femme, Margaret Thatcher), ou la "reine Elizabeth"... ou encore le "mari du premier ministre" (Denis Thatcher). Peut-on alors définir le concept de PREMIÈRE DAME ?

Le concept de PREMIÈRE DAME

Admettons une définition du type "conjoint du chef de l'exécutif". Mais ce concept évoque des personnes qui ne conviennent plus à cette définition : en Haïti, par exemple, le titulaire du rôle pouvait être la "femme de l'ex-président" qui était aussi la "mère du président". Hofstadter propose alors cette définition : «le conjoint ou l'un des parents, actuel ou "ex", du chef de l'Etat, actuel ou "ex"». Toutefois, le problème reste entier. En effet, ce qui est important, c'est ce que le concept *évoque*, non sa définition. Si vous vous retrouvez dans une organisation quelconque et que la tante du président de l'association puisse être présentée dans cette situation comme jouant le rôle de première dame, la définition doit être révisée. Et elle peut l'être, au fur et à mesure des situations dans lesquelles ce concept est évoqué — Ella Fitzgerald, considérée comme "la première dame du jazz", ou Greta Garbo, nommée "première dame du cinéma" (Mitchell, 1993) — jusqu'au point ou une définition exhaustive acceptera que quiconque puisse être un jour considéré comme un représentant du concept de PREMIÈRE DAME...

---

[6] Hofstadter (1982a, tr. fr. 1988, p.238) parle de concepts *anonymes*.

La notion de rôle

Cet exemple nous montre que “femme du président” (Nancy Reagan) peut correspondre à “mari du premier ministre” (Denis Thatcher) quand la situation le permet, représentée par la question : «Qui joue le rôle de Nancy Reagan en Angleterre ?». La figure 1 montre les glissements qui ont été possibles par le passage d'une situation à une autre :

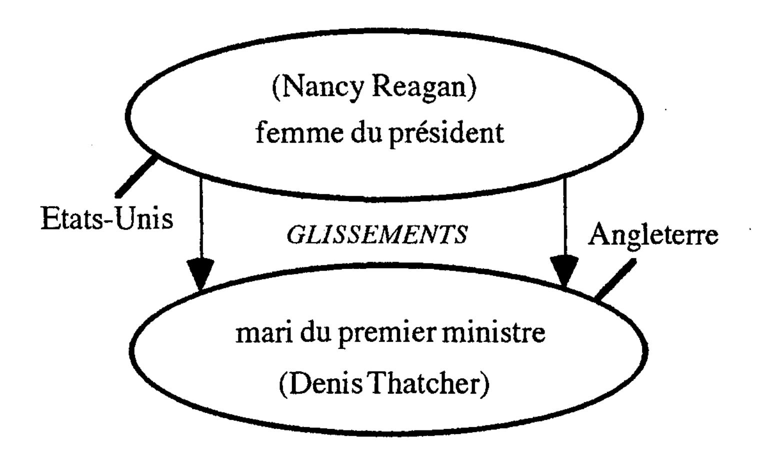


Figure 1. Les glissements conceptuels effectués entre les Etats-Unis et l'Angleterre à la question «Qui joue le rôle de Nancy Reagan en Angleterre ?» : 'femme' devient 'mari' et 'président' devient 'premier ministre'.

Cette notion de 'glissements conceptuels', associée à la notion de 'rôle', nous permet d'éviter les critiques portées aux approches basées sur les propriétés (voir, par exemple, Armstrong, Gleitman & Gleitman, 1983). Pacherie (1995a) rappelle, par exemple, que “3” est plus représentatif d'un nombre impair que “781” alors qu'ils ont les mêmes propriétés. Même le partage d'une propriété entre deux éléments d'une même catégorie réduit la probabilité que l'organisation conceptuelle soit basée sur des relations de causalité et sur des recouvrements de domaines conceptuels plus larges.

Ainsi, l'important, ce n'est pas la propriété considérée mais le rôle joué par un élément : «un rôle [...] ne possède pas un nombre fixe de paramètres qui définissent l'étendue de ses variations possibles, mais un ensemble de tests ou de critères s'appliquant aux candidats qui prétendent en constituer un exemple» (Hofstadter, 1982b, tr.fr. 1988, pp.270-271). Pour expliciter cette notion de rôle, Hofstadter prend l'exemple de la lettre “A” : nous pouvons tenter d'énumérer toutes les propriétés qui font d'une lettre un “A”, mais nous ne pouvons les considérer suffisantes pour élaborer un algorithme qui fabriquerait *tous* les “A” (qui garantirait donc la complétude) et *que* les “A” (qui garantirait en même temps la cohérence)[7]. Considérons les exemples de la figure 2 :

[7] Le théorème d'incomplétude de Gödel souligne justement que l'on ne peut que s'en approcher (voir Hofstadter, 1982c).

A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Figure 2. Exemples de lettres "A" issues de 70 polices différentes.

Hofstadter (1982a) précise, avec d'autres exemples de "A" mais aussi des exemples de visages, que l'identification en tant que "A" ne pose en général aucun problème, alors que les propriétés "nécessaires", comme la présence d'une barre, ne sont pas toujours respectées. Dans ce cas, un autre élément va jouer le rôle de la barre — et parfois, celle-ci apparaîtra *par son absence*. Ce sont ces rôles qui rendent possibles les glissements. Dans l'exemple de la première dame, ce n'est pas la propriété 'être une femme' qui explique le choix possible de Denis Thatcher comme la *first lady*, mais le même rôle qu'il joue avec Nancy Reagan rendu possible par son statut de mari du premier ministre, *i.e.* le conjoint "sans pouvoir" de la personne "qui gouverne".

Par conséquent, «on peut associer à la notion de glissement entre des termes étroitement liés l'idée de voir un objet donné comme une variante d'un autre objet» (Hofstadter, 1979b, tr. fr. 1985, p.735). Ainsi, lorsque l'on parle de *glissements conceptuels*, il s'agit du remplacement d'un concept dans la description d'une situation par un autre apparenté dans une autre situation. Considérer la question des concepts sous cet angle modifie considérablement la recherche d'une réponse à la question : "Qu'est-ce qu'un concept ?".

La pertinence psychologique des glissements conceptuels

Dans leur démonstration qu'un concept ne peut pas être un prototype, Fodor et Lepore (1996) mettent en avant le principe de compositionnalité, lié à l'argument de systématicité

(voir Fodor & Pylyshyn, 1988, tr.fr. de Vivicorsi & Clignet, à paraître). Il semble alors possible de se passer d'une explication faisant référence aux glissements conceptuels[8].

Voici leur argumentation. Dans un premier temps, les concepts sont des représentations mentales. En tant que représentations mentales, celles-ci possèdent une structure en constituants, donc les concepts ont une structure en constituants : «le concept MARRON est un constituant du concept VACHE MARRON» (Fodor & Lepore, 1996, p.255). Le corollaire est la nécessité d'une syntaxe et d'une sémantique combinatoires : la syntaxe combinatoire permet de produire une infinité de combinaisons à partir d'un ensemble de ressources finies, donc de rendre compte de la productivité de la pensée; la sémantique combinatoire permet, par le fait que chaque item lexical doit assurer approximativement la même contribution sémantique pour chaque expression dans laquelle il apparait, de rendre compte de l'aspect systématique de la pensée — *i.e.*, le fait de comprendre 'Jean aime Marie' implique le fait de comprendre 'Marie aime Jean'. Ces parallélismes entre structures syntaxiques et propriétés sémantiques définissent le principe de compositionnalité. Ainsi, les concepts, selon Fodor et Lepore (1996), sont compositionnels. Les prototypes, n'étant pas compositionnels, ne ne peuvent donc pas être des concepts.

Le problème sous-jacent à ce type d'argumentation est double. D'une part, le contexte ne joue aucun rôle : «nous soupçonnons que la quantité de variations de sens lexical induite par le contexte est souvent surestimée, parce que d'autres types de sensibilités contextuelles sont faussement interprétées comme des violations de compositionnalité. [...] La différence entre 'un bon livre', 'un bon repos' et 'un bon combat' exprime plus une syncatégorématicité qu'un changement de sens» (Fodor & Pylyshyn, 1988, p.42). Ainsi, le contexte est réduit à la possibilité pour certains termes d'être utilisés dans un sens plus large qu'habituellement. D'autre part, lorsque Fodor *semble* parler de "glissement" — ce qu'il fait très rarement, ou comme cas exceptionnel "qui confirme la règle" — on obtient ce type d'exemple : «la biologie exclut probablement les chiens rayés comme des zèbres; très certainement, elle exclut les chiens qui possèdent des rayures bleues, blanches et rouges. Mais je suppose que les chiens à rayures bleues, blanches et rouges sont *conceptuellement* possibles» (Fodor, 1994, p.105).

Voici précisément où se situe la différence paradigmatique de l'approche des concepts entre une perspective fodorienne et une perspective hofstadterienne : les glissements conceptuels n'existent pas pour Fodor... Son exemple aurait pu être celui du chien considéré comme un concierge car les deux gardent la maison (et jouent alors le même

[8] Nous prenons l'exemple de la conception fodorienne, opposée à plus d'un titre à la conception hofstadterienne (voir Vivicorsi, à paraître).

rôle). Mais prenons un exemple très souvent utilisé par Fodor, le concept de CÉLIBATAIRE : Umberto Eco (1997, tr. fr. 1999, pp.168-170) rappelle que la définition "mâle adulte non marié" ne marche pas, puisqu'elle inclurait les prêtres catholiques, les homosexuels, les eunuques, Tarzan (dans le roman) — ce qui est néanmoins possible de façon figurée ou humoristique; en revanche, la définition "mâles adultes qui ont choisi de ne pas se marier (pour une période indéfinie), tout en ayant la possibilité physique et sociale de le faire" exclut justement les cas précités, mais ignore la possibilité d'un mariage homosexuel, tout au moins dans certains pays. Dès lors, des failles s'ouvrent rapidement : il faut penser aux personnes qui vivent en couple mais qui ne sont pas mariées, aux homosexuels qui se marient avec quelqu'un du sexe opposé uniquement pour des raisons de convenance sociale, etc.

C'est vrai, Fodor le dit aussi — on *ne* trouvera *pas* de définition — mais il reste ancré dans une possibilité *formelle* de sémantique, non une possibilité *cognitive*. C'est la possibilité d'associer l'imprévu qui n'est pas permise chez Fodor — il défend d'ailleurs une rationalité forte (logique) de l'esprit humain, et l'on peut comprendre ainsi pourquoi il n'évoque pratiquement jamais le cas des enfants. Ces derniers nous indiquent pourtant clairement la facilité avec laquelle nous voyageons conceptuellement : à la question "si le barbier du village est celui qui rase tous les hommes qui ne se rasent pas eux-mêmes, qui rase le barbier du village ?", deux enfants questionnés par Eco (1997, tr. fr. 1999, note 1, p.170) répondent que le barbier est une femme, qu'il ne se rase jamais, qu'il est un orang-outan dressé, que c'est un robot, qu'il est imberbe, qu'il se brûle au lieu de se raser...

Comment peut-on rendre compte de ce type de comportement sans supposer une notion comme celle de 'glissements conceptuels' ? Leur présence est pourtant largement diffuse et non restreinte à quelques exemples bien choisis. En fait, «étant donné leur caractère universel, il est étonnant que les glissements mentaux passent aussi inaperçus. [...] Tout cela paraît si naturel qu'aucune explication n'est nécessaire» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.246).

Les contrefactuels

Hofstadter (1979b, 1979c) parle de l'aisance avec laquelle chacun de nous évolue dans des mondes contrefactuels. Généralement, ce sont des évocations de la forme "si j'étais arrivé plus tôt, je n'aurais pas raté l'avion", qui peut sous-entendre des dizaines d'autres réflexions relatives au moyen de gagner du temps : il fallait "prendre une autre route", "griller ce feu", "ne pas donner à manger au chat", "ne pas avoir veillé si tard", "avancer ma montre d'un quart d'heure", etc.

Ces variations mentales de situations ou d'événements, modifiées par des remplacements à l'intérieur d'un scénario, ont été étudiées au moyen d'une tâche expérimentale consistant à demander aux participants, en fonction de certaines informations en leur possession, de transformer des actions pour qu'un événement particulier ne se produise pas.
Pour expliquer les comportements observés, Kahneman et Tversky (1982) ont proposé *l'heuristique de simulation* : on reproduit le scénario mentalement en repérant les éléments qui s'écartent le plus d'une norme afin de les remplacer. Par exemple, un individu qui meurt dans un accident de voiture sans avoir fait d'erreurs de conduite *n'aurait pas dû* prendre le chemin qu'il a pris, inhabituel pour lui. Girotto, Legrenzi et Rizzo (1991) ont par ailleurs mis en évidence le rôle des décisions volontaires de l'acteur : quelqu'un va être fautif du retard pris avant de rentrer chez lui, pendant que sa femme agonisait (et qui est morte pendant ce retard), *parce qu'il a pris une bière* — le fait qu'un camion ait également perdu un tronc qu'il transportait passe au second plan.
D'autres auteurs, comme Senos et Almeida Rocha (1998), insistent sur la fonction affective de certains contrefactuels pour réguler des sentiments négatifs pouvant être provoqués par des résultats d'actions indésirables. Dans ce cas, les individus ont tendance, pour gratifier un tel résultat, à évoquer des scénarios dans lesquels "ça aurait pu être pire". De la même façon, Medvec, Madey et Gilovitch (1995) ont montré, en analysant les réactions émotionnelles d'athlètes aux Jeux Olympiques d'été de 1992, que des médaillés de bronze était plus satisfaits que des médaillés d'argent : selon les auteurs, les premiers ont évoqués un scénario plus néfaste dans lequel ils n'avaient pas de médaille, les seconds, au contraire, ont évoqué la possibilité d'avoir la médaille d'or. Sur le même principe, les enfants (voir, par exemple, Harris, German & Mills, 1996), au moins dès l'âge de deux ans, semblent déjà être familiarisés avec l'évocation de scénarios différents de la réalité, en particulier sur les événements qui ont *failli* se produire — l'utilisation rapide du "presque" chez les enfants va dans ce sens (Kahneman & Varey, 1990).
Enfin, Dunning et Madey (1995) mettent en avant le rôle de la pensée contrefactuelle dans le choix d'une action adaptée lorsque plusieurs possibilités s'offrent à nous. Ils soutiennent l'idée que, même s'il est difficile de comprendre en totalité les facteurs jouant un rôle dans l'évocation de contrefactuels avant d'aboutir à une action, «les meilleures décisions sont toujours effectuées après la considération de *toutes* les alternatives» (*Ibid.*, p.129, nous soulignons).
Sans entrer, dès maintenant, dans le détail d'une théorie sur le raisonnement que nous défendons dans la section **5**., il paraît difficile, dès lors que sont étudiées des formes de raisonnement susceptibles d'être utilisées hors du contexte d'une expérience, d'envisager *toutes* les alternatives possibles. L'important ici, encore une fois, c'est que l'on puisse envisager *plusieurs* alternatives, *apriori* sans mal. D'ailleurs, Ruth Byrne (1997) insiste

sur la généralité de la pensée contrefactuelle et sur le fait qu'il est urgent de privilégier dorénavant, pour le nouveau millénaire, les recherches sur le raisonnement qui se préoccupent de situations réalistes. Elle pose la question en ces termes : quelles sont les correspondances que l'on peut faire entre des résultats obtenus dans un contexte expérimental et des constatations au sein d'une situation réelle, sachant que dans ces dernières, la réalité est plus "glissante" ?

Néanmoins, ces glissements que l'on peut constater sur la base de contrefactuels *classiques* ne sont qu'une petite partie de l'iceberg. En premier lieu, certaines hypothèses peuvent nous diriger vers un changement radical d'un vaste ensemble de croyances. Prenons l'exemple du "rire de Jésus" (Le Goff, 1998) : depuis l'époque paléochrétienne jusqu'à la fin du Moyen Age, la question "Jésus a-t-il ri une seule fois dans sa vie terrestre ?" est régulièrement apparue dans des sermons ou dans des conférences ouvertes au public (les *quod libet* de l'Université de Paris au XIIIème siècle, par exemple). Et cette question, mise en relation avec la proposition d'Aristote considérant le rire comme le propre de l'homme, entraîne de vastes conclusions — l'une d'entre elles étant, évidemment, de savoir si l'on peut considérer l'homme chrétien comme un homme dans le cas où Jésus n'ait pas ri... En second lieu, des scénarios imaginaires basés sur une partie "réelle", se cachent dans de nombreuses expressions orales énoncées sans réfléchir. La simple expression "je n'aimerais pas être à sa place" ouvre déjà un nouveau scénario qui peut s'enrichir si on le souhaite. Gilles Fauconnier (1997a) a ainsi donné quelques exemples : "si j'étais toi, je reviendrais vers moi", "si j'étais ton père, je serais plus sévère", "à ta place, je partirais", ou encore, en parlant d'une sœur *qui n'existe pas*, "elle ne sait pas la chance qu'elle a..." (voir Fauconnier, 1997b, pp.14-18 et pp.99-130, pour des exemples plus complexes). Le fait est que nous comprenons *sans aucune difficulté apparente* ces petites phrases qui, comme le disait Ortony (1997), nécessiteraient une description extrêmement rigoureuse d'un point de vue sémantique.

Les métaphores

L'utilisation et la compréhension des métaphores font partie du domaine de la fluidité conceptuelle, d'autant plus que la particularité d'une métaphore, c'est de rendre *apparents* les glissements conceptuels — c'est pourquoi nous ne prenons pas explicitement de tels exemples, préférant faire entrevoir ces glissements par des fenêtres moins évidentes. Mais il va de soi que les auteurs insistant sur le caractère profondément métaphorique du langage (*e.g.*, Black, 1979; Sadock, 1979) et de la pensée (*e.g.*, Rumelhart, 1979; Lakoff & Johnson, 1980; Lakoff, 1993; Gibbs, 1993, 1994) participent à l'établissement de l'ubiquité d'une fluidité conceptuelle basée sur cette notion de glissement (*cf.* **1.3.**).

Les lapsus

Un autre domaine permet d'enregistrer facilement des glissements : celui des lapsus, ou plus généralement des erreurs de langage. Hofstadter et Moser (1989) décrivent de très nombreux exemples d'erreurs, en insistant sur le fait qu'elles ne sont pas accidentelles : au contraire, les mécanismes sous-jacents sont rigoureusement les mêmes, provoquant un remplacement d'un X par un Y (par exemple, essayer de rechercher le mot “février” dans la section B d'un dictionnaire, parce que février, comme B, correspond au second terme d'une série).
A ce titre, le livre intitulé *Les lapsus, ou comment notre fourche a langué*, de Rossi et Peter-Defare (1998), nous permet de réinsister sur la différence évoquée précédemment entre une sémantique “formelle” et une sémantique “cognitive”. Ce livre est écrit par des linguistes, qui analysent les différents procédés linguistiques permettant d'expliquer les différentes sortes de lapsus. L'erreur de trait est ainsi décrite comme un glissement de phonèmes, comme dans l'exemple 21 :

Il faut dé(ch)aisir, *dessaisir* les <j>uges

Nous citons : «(ch) a été substituée à *s* par anticipation du trait de patalité de <j> dans *juges*» (*Ibid.*, p.23). Une autre explication, qui n'enlève rien à la première mais qui a le mérite d'être psychologiquement plausible (et en accord avec le paradigme de glissabilité présenté jusqu'ici), nous est immédiatement apparue : nous imaginons, dès que nous sommes sollicité à le faire, un juge sur une haute estrade, derrière une grande table, assis sur une *chaise*, et pour nous, le (ch) remplaçant le *s* peut y avoir sa source — mais dans ce cas, nous ne sommes plus au sein d'une explication linguistique du phénomène.

Concept : une définition

Ce n'est donc pas ce que doit signifier un concept *en tant que tel*, ou ce que pourrait *contenir* un concept comme représentants (*e.g.*, le chien tricolore pour le concept CHIEN), qui est important, mais ce qui est *évoqué* par une situation : les changements de sens que l'on “s'autorise” sans même s'en rendre compte lorsque l'on transporte une description dans un autre contexte. Dès qu'un tel glissement se produit, d'autres mondes sont possibles. Et c'est le caractère vague des concepts qui permet de les modeler selon les situations. Comme le dit Dan Sperber, «le flou n'est jamais un inconvénient — c'est plutôt un avantage — lorsqu'il s'agit d'établir des ressemblances» (1996, p.34). Et lorsqu'on se demande entre deux media si “la même chose se passe”, «la réponse n'est jamais une réponse en blanc et noir — oui/non» (Hofstadter, 1997a, p.317).

Cette capacité à *percevoir* des ressemblances, des *analogies*, est au cœur de ces voyages conceptuels. Pourquoi ? Parce qu'un concept — *e.g.*, la GARDIENNITÉ — correspond à l'émergence d'un 'sens' provenant de deux objets ou situations à partir duquel on considère, à cet instant, ces deux objets ou situations comme analogues — *e.g.*, le chien et le concierge.

1.2. La perception d'analogies

> Je constate que je vieillis; un signe qui ne trompe pas est le fait que les nouveautés ne m'intéressent pas ni ne me surprennent, peut-être parce que je me rends compte qu'il n'y a rien d'essentiellement nouveau en elles et qu'elles ne sont tout au plus que de timides variantes.
>
> Jorge Luis Borges, 1955, tr. fr.1978, 1998, p.28

Pour comprendre le rôle que joue la perception d'analogies dans notre activité cognitive, prenons un exemple qu'Hofstadter (1979a, tr. fr. 1985, p.404) emprunte à Dean Wooldridge (1968, p.70) à propos d'une expérience célèbre de Jean-Henri Fabre :

> Au moment de la ponte, la guêpe Sphex creuse un petit trou, puis part chasser un grillon qu'elle pique afin de le paralyser, mais pas de le tuer. Ensuite, elle tire le grillon jusque dans le trou, pond ses œufs à côté, bouche le trou et s'envole pour ne jamais revenir. Au terme de leur développement, les œufs éclosent et les larves se nourrissent du grillon paralysé qui, grâce à cette forme de "congélation", ne s'est pas décomposé. L'esprit humain a tendance à voir dans ce comportement remarquablement organisé et, en apparence, intentionnel, une logique et une réflexion convaincantes, tout au moins tant qu'il ne s'est pas penché sur le détail de ces activités. Une fois qu'elle a piqué le grillon et que celui-ci est paralysé, la guêpe l'amène jusqu'au seuil du trou. Elle le laisse alors là, pénètre dans le trou pour s'assurer que tout y est normal, puis en ressort pour le pousser dedans. Si, pendant que la guêpe inspecte le trou, le grillon est déplacé de quelques centimètres, celle-ci, quand elle en ressort, ramène le grillon au bord de ce trou, mais ne l'y introduit pas. Ensuite, elle répète la procédure préparatoire de la visite de contrôle. Si le grillon est alors à nouveau déplacé de quelques centimètres, la guêpe tirera à nouveau le grillon au seuil du trou et y rentrera pour une nouvelle vérification. Jamais il ne lui vient à l'esprit d'y introduire directement le grillon. Cette procédure a pu, lors d'une expérience, être répétée quarante fois sans que le résultat ne varie.

Pour Hofstadter, ce comportement symbolise le *mécanique*, et ce mécanique ne fait *a priori* pas partie de notre façon de penser : nous ne sommes pas *sphexiens*, mais sommes au contraire doués d'une *«aptitude à voir la ressemblance»* (1982d, tr. fr. 1988, p.549). Cette aptitude est nécessaire face à l'instabilité d'un environnement ou de situations qui ne sont jamais identiques.

Certaines études sur la perception insistent sur la complémentarité existante entre le traitement des informations transmises par le stimulus perçu et les connaissances issues de nos expériences antérieures. Nous illustrerons ces résultats par les travaux effectués sur les illusions perceptives et les figures ambiguës, montrant ainsi que la réalité n'est pas perçue *sans une certaine interprétation*, qu'elle est donc *orientée*. Ensuite, après avoir défini la notion d'analogie, nous évoquerons le rôle que joue dans cette orientation la perception d'analogies en matière d'apprentissage de concepts et de catégorisation. Enfin,

dès lors que l'on conçoit la créativité comme la recherche d'une solution adaptée, la perception d'analogies est fondamentale en tant que *déclencheur de glissements conceptuels* : ainsi, percevoir les "bonnes" analogies permet d'effectuer les "bons" glissements.

1.2.1. Perception et perceptions

Nous ne prendrons que l'exemple de la perception visuelle, plus familier, et de la partie des études nous permettant de progresser vers le fait que nous avons une perception non directe et orientée du monde.

Cette perception a été rigoureusement étudiée depuis plus de 150 ans. Nous pouvons supposer que notre perception correspond à la perception du monde tel qu'il est, mais il n'en est rien : «notre expérience nous donne l'*illusion* d'avoir un accès direct au monde externe» (Shepard, 1990, tr. fr. 1992, p.16; voir aussi Massaro, 1989a). Celui qui perçoit ne peut être comparé positivement à une photocopieuse ou à un magnétophone : le résultat majeur de ces études est que la perception que nous avons du monde est *construite*. Cette construction active nous permet d'évoluer de façon adaptée dans un monde en mouvement.
Deux traitements de sens opposés mais non exclusifs ont ainsi été mis en évidence : le traitement "dirigé par les données" (*bottom-up, i.e.* guidé par les caractéristiques des stimuli) et le traitement "dirigé par les concepts" (*top-down, i.e.* guidé par nos connaissances). Le poids que l'on peut attribuer à chacun des traitements dépend de la situation à laquelle nous sommes confrontés. Les "illusions visuelles" (Gregory, 1968) nous montrent comment ils peuvent interagir[9].

L'orientation par les caractéristiques des stimuli : les illusions visuelles

Le traitement dirigé par les données peut être mis en évidence en utilisant des illusions géométriques comme celles présentées dans la figure 3. La première illusion conçue expérimentalement est celle d'un rhomboïde transparent de L.A. Necker en 1832 — présentée et connue aujourd'hui comme *le cube de Necker* — dont la profondeur se renverse spontanément (*cf.* figure 3a). Johann Zöllner, Johann Poggendorf, en 1860, Ewald Hering, en 1861, et Wilhelm Wundt, en 1896 présentèrent des illusions dans lesquelles des lignes parallèles apparaissaient déplacées ou tordues. L'illusion de la

[9] Un site, *Illusion Works*, est spécialisé : http://illusionworks.com/html/hall_of_illusions.html. Voir aussi le livre plus général de Jacques Ninio (1998), et celui de Roger Shepard (1990) plus centré sur ses propres travaux.

double flèche, conçue avec une quinzaine de variations par Franz Müller-Lyer en 1889, montre comment il est parfois très difficile de ne pas se laisser guider par certaines caractéristiques du stimuli : le segment est perçu plus long lorsque les flèches sont orientées vers l'extérieur (*cf.* figure 3c2), et il faut prouver aux étudiants qui passent cette expérience, règle à l'appui, que les deux segments (dans c1 et dans c2) sont égaux. La même chose se produit dans l'illusion de Mario Ponzo en 1913 : la ligne horizontale la plus éloignée des "rails" est perçue plus longue (*cf.* figure 3b). Une variation peut être vue dans le dessin de Roger Shepard (1990, tr. fr. 1992, p.60) "*To make the tables turn*" : il nous faut mesurer les deux tables pour être convaincu qu'elles sont de dimensions égales.

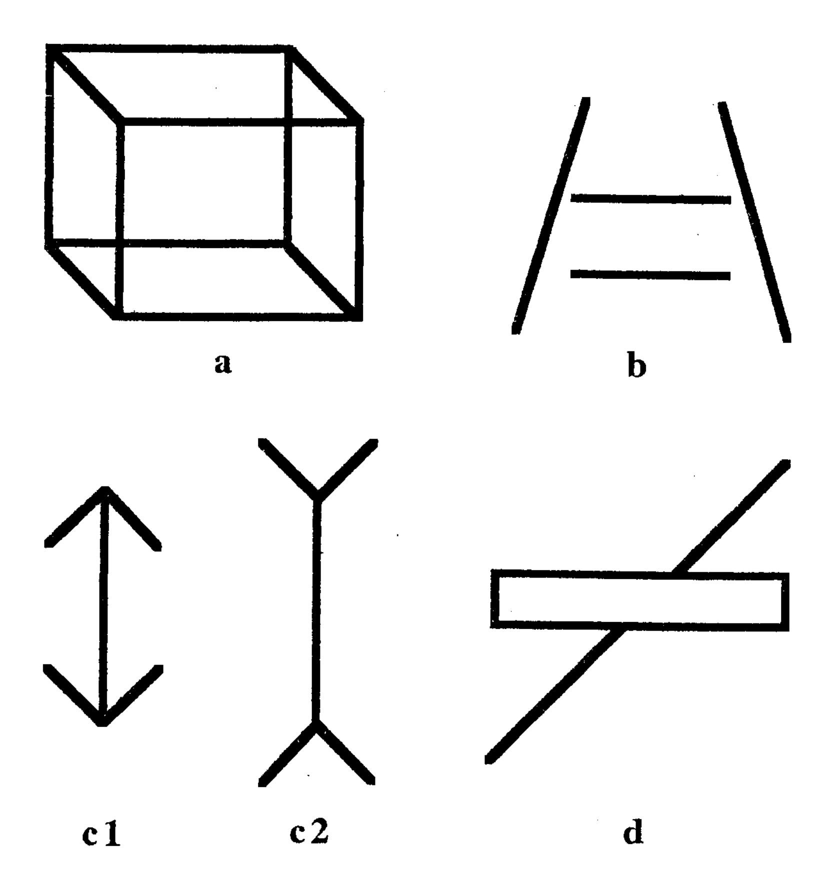


Figure 3. Quelques illusions géométriques célèbres : (a) l'illusion de Necker (1832), (b) l'illusion de Ponzo (1913), (c) l'illusion de Müller-Lyer (1889) et (d) l'illusion de Poggendorf (1860).

Ces exemples montrent que des caractéristiques particulières des stimuli nous orientent d'une certaine façon dans la perception qu'on a de ces stimuli, et les illusions persistent même lorsqu'on sait que l'on se trompe dans notre évaluation.

L'orientation par les concepts : perception globale, figures ambiguës et objets impossibles

Le traitement dirigé par les concepts peut être mis en évidence en utilisant des figures que l'on peut organiser (percevoir) d'une certaine façon.
D'une part, la *Gestalttheorie* — ou *Psychologie de la Forme* (Köhler, 1929; Guillaume, 1937) —, d'abord proposée par Christof von Ehrenfels (1890) pour la perception mélodique, puis élaborée par Max Wertheimer (1912), soutient que la façon dont nous percevons des parties d'un tout dépend de la configuration totale du stimuli. La figure 4 en est un exemple :

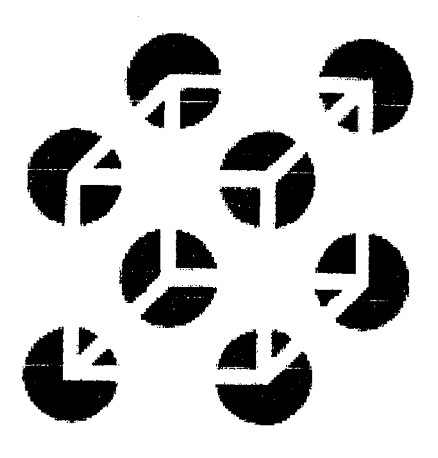


Figure 4. Un exemple d'une perception globale organisée à partir d'un ensemble de 24 éléments.

Nous ne percevons pas 24 petits éléments noirs disséminés un peu partout, mais huit “cercles” (des éléments ont tendance à être regroupés). De plus, un cube se dessine sur le devant de la scène, qu'on a aucun mal à se représenter dans sa totalité, alors qu'en “réalité”, *il n'est pas représenté.* Cet exemple illustre notre capacité à organiser le stimulus d'une certaine façon, en nous soumettant aux “lois de la forme” développées par les gestaltistes. Cette perception globale est plus récemment très bien illustrée par une première page du journal Libération, du 11 février 1986, sur laquelle nous pouvions lire “MAFIA : L'TALIE JUGE SES PARRAINS” sans s'apercevoir que le premier “i” du mot Italie était absent (voir Mucchielli, 1995). D'autres exemples insistent sur le rôle des connaissances dans cette perception globalisante : dans la figure que l'on appelle “Camouflage” (*cf.* figure 5) ou dans celle de R.F. Street de 1931 (*cf.* Delorme, 1994, p.182), nous percevons en premier lieu et dans les deux cas un amas de tâches; dès lors que l'on nous renseigne sur les rapports de la première avec un chien et de la seconde

avec l'équitation, les tâches *s'organisent* pour la première en chien dalmatien marchant la tête près du sol et pour la seconde en cavalier[10] :



Figure 5. "Camouflage": au départ, nous ne percevons pas ce que l'image représente, mais en insistant, où lorsqu'on nous donne un indice, les fragments de l'image sont perceptivement réorganisés comme représentant un chien dalmatien.

Les *figures ambiguës* montrent également l'influence de connaissances antérieures. Ces figures peuvent être perçues de différentes façons. Ainsi, une carte postale allemande anonyme de 1888 (figure 6a) est une figure montrant à la fois, mais non en même temps, une femme âgée et une jeune femme. Ce dessin fut reproduit par W.E. Hill (1915) puis par E.G. Boring (1930) (figure 6b), et est connu aujourd'hui comme la figure de Boring intitulée "Ma femme et ma belle-mère"[11].

Généralement, nous percevons une des deux interprétations possibles de la figure, et arrivons à percevoir l'autre si l'on nous signale qu'il y en a une autre ou si l'on nous donne un indice pour la trouver.

[10] Une nouvelle méthodologie basée sur l'apparition progressive de patterns sur ordinateur permettra sans doute de délimiter plus finement ce passage entre la perception de tâches et la perception d'une forme (Washburn, 1998). Nous avons également beaucoup à apprendre de la façon dont les effets spéciaux nous dupent (Levialdi, 1999).

[11] Une version similaire fut réalisée par Jack Botwinick (1961), "Mon mari et mon beau-père".

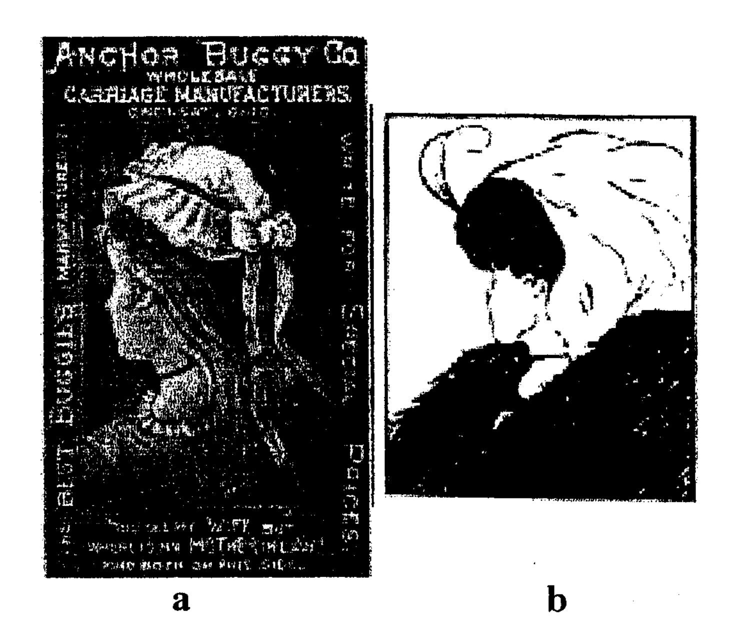


Figure 6. Une des plus célèbres figures ambiguës, dans sa version originale anonyme de 1888 (a) et sous sa forme la plus connue (b) dûe à E.G. Boring (1930) : "Ma femme et ma belle-mère".

Contrairement aux illusions comme celle du cube de Necker, dans laquelle on peut voir un cube dirigé vers le haut ou un autre dirigé vers le bas, ces figures ambiguës rendent explicite le rôle des connaissances sur la perception de stimuli susceptibles d'être *interprétés* de différentes façons.

Ce détail semble échapper à Fodor qui, dans une réponse à Paul Churchland, dit clairement que la figure de Necker ou celle du "canard-lapin" (voir, par exemple, Shepard, 1990, tr. fr. 1992, p.49) n'est vue différemment que par le fait que l'on change de point de fixation : «croire que c'est un canard ne vous aide pas à le voir comme tel; vouloir le voir comme un canard ne vous aide pas plus. Mais savoir où regarder *peut* aider» (Fodor, 1988, p.255). Il est certain que dans l'exemple du cube, un élément d'une des interprétations va changer de place (en profondeur) dans l'autre interprétation. Mais comment expliquer le passage *exclusivement* en terme de point de fixation dans une figure ambiguë comme celle de Boring, dans laquelle le même élément change non pas de place mais de rôle ? Peut-être est-ce le cas lorsque la deuxième interprétation apparaît d'un coup. Mais cela veut-il dire que l'œil de la belle-mère devient soudain l'oreille de la femme ? Cette question est encore plus problématique sur des figures comme "Camouflage", dans laquelle le dalmatien apparaît. Il est vrai que Fodor effectue une distinction entre perception et cognition par le cloisonnement informationnel qu'il tient pour caractéristique des modules. Il n'y a donc pas d'influence de l'imagination sur la vision et pas de confusion sur le rôle de la perception. Pour lui, celle-ci ne concerne en rien l'adaptation comportementale : Sherlock Holmes pense car il fait des hypothèses,

tandis que pour percevoir, il suffit d'ouvrir les yeux et de regarder (Fodor, 1989)... mais quoi ? Nous reviendrons sur le problème du lien entre perception et cognition en **3.4.1.**.

Enfin, les recherches concernant certains automatismes sont également très instructives sur l'existence d'une perception orientée. Par exemple, le fait que nous vivons dans un espace à trois dimensions nous induit à percevoir la tridimensionnalité dans un plan (*i.e.*, à deux dimensions) lorsque le dessinateur utilise des procédés adéquats relevant de la perspective. Cette capacité probablement biologique (Shepard, 1990; voir Deregowski, 1989, pour la question de la généralisation inter-culturelle de telles études) permet aux psychologues et aux artistes de créer de nombreuses images dans lesquelles ce que nous savons du monde et ce que représente le dessin entrent en conflit, créant ainsi une figure *impossible*. Un des meilleurs exemples[12] est le "Triangle impossible" créé par l'artiste suédois Oscar Reutersvärd en 1934 (voir Penrose & Penrose, 1958) présenté en figure 7 :

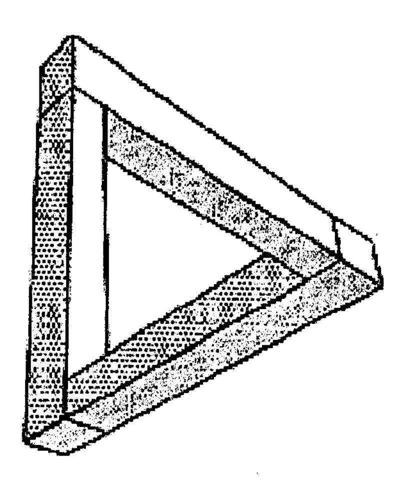


Figure 7. Le triangle impossible (d'après Penrose & Penrose, 1958).

Le célèbre Maurits Escher (1959; Ernst, 1978) incorpore souvent des indices de profondeur dans ses dessins pour nous diriger d'une façon réaliste vers la perception d'une scène tridimensionnelle qui, bien souvent, est impossible. Une chose est sûre, c'est que dès que nous avons la possibilité d'interpréter une scène plane en trois dimensions, nous le faisons (Shepard, 1990).

Une perception orientée

Tous ces exemples montrent que des caractéristiques propres aux stimuli et les connaissances générales que nous avons du monde *orientent* notre perception. Les deux

[12] Voir pour de nombreux exemples les ouvrages de Bruno Ernst (1985, 1986).

types de traitement ne sont pas séparés lorsque nous ne sommes pas confrontés à des images "piégées" conçues explicitement par les psychologues — bien que certaines d'entre elles, comme "Terror Subterra" de Shepard (1990, tr. fr. 1992, p. 59), exposent clairement leur interaction (figure 8) :

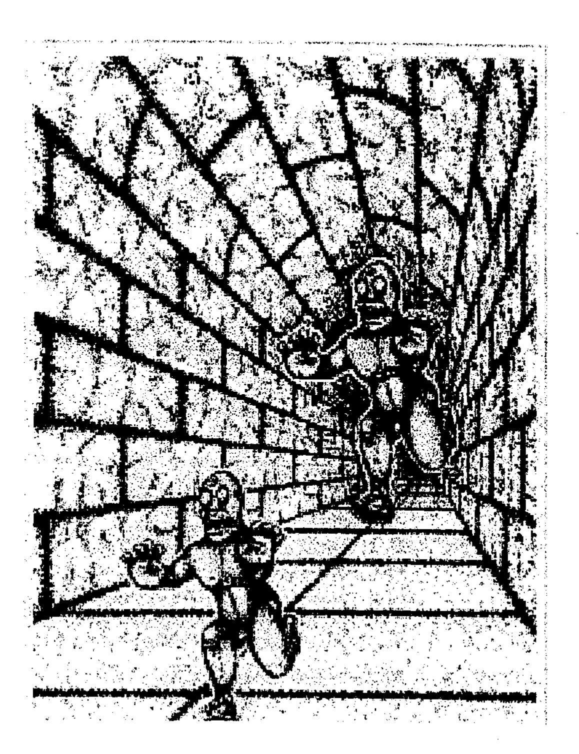


Figure 8. "Terror Subterra" (Shepard, 1990, tr. fr. 1992, p.59).

Dans cette image, deux monstres vus de face courrent dans un tunnel, l'un derrière l'autre; ils sont rigoureusement identiques, mais le poursuivi paraît plus petit *et* apeuré, le poursuivant plus grand *et* enragé...

L'important ici est que la perception n'est pas un calque de la réalité mais est soumise à un *filtre interprétatif qui nous oriente vers une certaine interprétation.* Comme disait Georges Noizet, «d'un certain point de vue, les fausses identifications, de manière générale les erreurs perceptives, constituent la preuve d'une activité de l'organisme qui complète et déborde l'information recueillie» (1983, p.51). Là encore[13], «dans des conditions qui ressemblent à celles dans lesquelles notre système de perception a évolué [...] il fonctionne avec une telle efficacité que nous ne nous rendons absolument pas compte de son existence ni, à plus forte raison, de son degré de perfectionnement» (Shepard, 1990, tr. fr. 1992, pp.179 et 182). Shepard dit même un peu plus loin : «ce qui est remarquable, c'est que nous nous trompions si rarement, alors que toute projection bidimensionnelle du

[13] Hofstadter parlait du fait que les glissements mentaux passent inaperçus (*cf.* **1.1.2.**).

monde [sur la rétine] est compatible avec une infinie diversité de mondes tridimensionnels possibles» (*Ibid.*, p.183)[14].

En d'autres termes, nous sommes adaptés aux situations dans lesquelles nous nous retrouvons en général, et qui n'offrent pas toujours des conditions écologiques maximales (*i.e.*, aucun obstacle et éclairement adéquat). Après avoir défini ce que nous entendons par le terme "analogie", nous verrons que cette orientation pouvant être adaptative se manifeste également dans une perception plus abstraite.

1.2.2. Qu'est-ce qu'une analogie ?

L'analogie a une importance fondamentale au sein de l'activité cognitive, si l'on en croit de nombreux auteurs spécialistes du domaine qui commencent ainsi leur article, chapitre ou livre :

> «La capacité de percevoir des similitudes et des analogies est un des aspects les plus fondamentaux de la cognition humaine» (Vosniadou & Ortony, 1989, p.1).
>
> «L'analogie et la métaphore sont centraux à la pensée scientifique» (Gentner & Jeziorski, 1993, p.447).
>
> «L'analogie et la similitude sont centraux dans l'apprentissage et le transfert» (Gentner, Ratterman & Forbus, 1993, p.525).
>
> «Les recherches de ces dix dernières années sur les analogies ont pour la plupart validé le rôle non négligeable qu'elles jouent dans la résolution de problèmes, le traitement d'informations nouvelles, l'apprentissage, bref, dans la plupart des activités cognitives» (Gineste & Indurkhya, 1993, p.143).
>
> «Le plus étonnant dans l'analogie est qu'il suffit de s'y intéresser un peu [...] pour qu'elle devienne omniprésente : l'analogie est douée d'ubiquité. Elle est impliquée dans les opérations mentales les plus diverses. En un certain sens, elle est constitutive de notre habileté même à penser puisqu'elle est l'ingrédient essentiel de notre capacité à représenter» (Ripoll, 1993, p.1).
>
> «La pensée analogique est centrale à la résolution de problèmes, l'apprentissage et la créativité» (Keane, Ledgeway & Duff, 1994, p.388).
>
> «Ce livre explore une idée simple : les *mappings* [dans le sens mathématique le plus large : une correspondance entre deux ensembles qui assigne à chaque élément du premier une contrepartie dans le second] entre domaines sont le cœur de la faculté cognitive humaine unique de production, transfert et traitement du sens» (Fauconnier, 1997b, p.1).
>
> «L'analogie et la similitude sont centraux dans le traitement cognitif» (Gentner & Markman, 1997a, p.45).
>
> «Au cours des 15 dernières années, un progrès considérable est apparu dans la compréhension des processus cognitifs sous-jacents à la pensée analogique, fournissant d'importantes intuitions sur un aspect fondamental concernant la pensée quotidienne, l'apprentissage et la créativité» (Keane, 1997, p.1).

---

[14] Pour une réflexion sur les problèmes théoriques et expérimentaux que pose une multiplicité représentationnelle possible via le système perceptif, voir Livet (1988).

> «Peut-être la plus fondamentale des relations psychologiques est celle de *ressemblance* (*sameness*). La capacité à reconnaître que deux objets, situations ou événements sont les mêmes selon certains critères sous-tend la reconnaissance d'objets, la catégorisation et le raisonnement analogique» (Kroger & Holyoak, 1997, p.406).

> «La pensée analogique est la base de la plupart de nos raisonnements quotidiens» (Goswami, 1998, p.49).

> «L'analogie, cœur de la cognition» (titre d'un chapitre d'Hofstadter, à paraître a)

Malgré sa pertinence dans de nombreuses activités cognitives, il reste qu'une définition de l'analogie en psychologie n'est pas explicitement formulée par les auteurs en général (*cf.* Holyoak, Gentner & Kokinov, 1998).

Les définitions non psychologiques

Dans le domaine de la philosophie et de la logique, le terme grec *analogia*, en latin *proportio*, est défini comme étant un rapport de parties ou de quantité entre elles, et plus largement «un rapport entre choses dissemblantes non seulement en quantité et en qualité, mais différentes de nature» (Secretan, 1984, p.7, qui parle plus loin de "pont par dessus une frontière"). Platon (*Timée*, 31c, 32a-b) parle de l'analogie en ces termes :

> C'est impossible de faire une belle composition avec deux éléments sans un troisième; il y faut en effet un lien, un moyen terme, pour concilier les deux. Or, des liens, le plus beau est celui qui à soi-même et aux termes qu'il relie impose la plus complète unité, et c'est ce que, par nature, la proportion (*analogia*) accomplit de façon parfaite. (cité *in* Secretan, 1984, p.20)

Nous avons donc l'idée de lien entre deux entités, un *lien proportionnel.* Selon Aristote (*Poétique*, 57b, 16-26) :

> «Il y a analogie lorsque le second terme est au premier ce que le quatrième est au troisième». (cité *in* Secretan, 1984, p.27)

Cette proportion est au départ mathématique, et peut être représentée par "A est à B COMME C est à D" (voir Grize, 1997, pp.98-104). Ce "COMME" mathématique est symétrique et les objets A, B, C et D appartiennent alors au même domaine. Par exemple, nous aurons les équivalences du type 1/2 = 2/4, et l'analogie, en mathématiques, est une *égalité* : un triangle est analogue à un autre triangle si *il est* cet autre triangle[15].

Dès que l'on passe d'une proportion à une ressemblance (on parlera alors plutôt d'*analogos*), le COMME n'est plus symétrique. Dans ce cas, le *thème* (ce qui est à gauche) et le *phore* (ce qui est à droite) peuvent appartenir à deux domaines différents : «pour que l'analogie remplisse son rôle, qui est d'éclairer le thème par le phore, il faut que leurs

[15] Nous remercions Jean-Marie Souriau pour cette précision.

domaines ne soient pas homogènes» (Perelman, 1977, pp.129-130, cité par Grize, p.99). En fait, c'est un rapprochement qui n'est pas une relation d'identité qui donne tout son sens à l'analogie : «le rapprochement analogique fonctionne ici dans une double lumière : celle de la distance objective et celle du rapprochement subjectif» (Secretan, 1984, p.18). Ainsi, l'analogie peut être considérée comme *le lien qui rassemble deux objets différents*[16]. Plus généralement, «toute analogie peut être considérée comme la tentative de reproduire sur une grille métaphorique une forme qui existe sur une autre. Plus grossières sont les "grilles", plus il faudra d'ingéniosité au créateur d'analogies pour établir la correspondance» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.629).

Une définition psychologique de l'analogie

Dans le domaine de la psychologie, la définition n'est pourtant pas aussi apparente : selon Harris (1994, p.282), «il est normal que l'analogie soit devenue un thème allusif car les théoriciens tentent précisément de définir les éléments centraux de la pensée». Il est d'ailleurs extrêmement rare de trouver le terme *analogie* non adjectivé — raisonnement analogique, situation analogique, correspondance analogique, pensée analogique, génération analogique, etc. Mieux, Keith Holyoak et Paul Thagard posent la question en ces termes : «Quelle est cet *analogique* qui rend possible de comprendre une situation dans les termes d'une autre ?» (1995, p.5, nous soulignons).

On pourrait conserver ce rapprochement entre deux entités (généralement appelées la *source* et la *cible*), en notant que «l'essence de la relation d'analogie qui lie deux objets rapprochés est la partie de leur ressemblance qui est pertinente par rapport au "pourquoi" du rapprochement, c'est-à-dire par rapport au contexte» (Bourrelly & Savelli, 1992, p.39; voir aussi Savelli, 1993). Le contexte est ici très important car il nous permet en fin de compte de distinguer l'analogie de la représentation : en effet, il suffit, selon Stephen Palmer (1989), de remplacer le domaine source par le monde représenté et le domaine cible par le monde représentant pour obtenir l'équivalence.
Mais le contexte, s'il différencie l'analogie d'une représentation, ne permet pas semble-t-il de *définir* l'analogie : pour Derdre Gentner (1989; Gentner & Markman, 1997a), par exemple, l'analogie est une forme de similitude basée sur les relations plutôt que sur les propriétés. En d'autres termes, «seule la similitude structurale [positionnement relatif des éléments et des relations les uns par rapport aux autres] est définitoire de l'analogie»

[16] Ce lien n'est d'ailleurs pas sans rappeler la première définition du symbole comme signe de reconnaissance (du grec *sumbolon*) : «primitivement, un objet coupé en deux, dont deux hôtes conservaient chacun une moitié qu'ils transmettaient à leurs enfants; ces deux parties rapprochées (de *sumballein*, mettre ensemble) servaient à faire reconnaître les porteurs et à prouver les relations d'hospitalité contractées antérieurement» (A. Bailly, cité dans Morfaux, 1980, p.352).

(Ripoll, 1993, p.12) — ou encore, «l'analogie cartographie (*maps*) une structure partielle d'un domaine source sur une structure partielle d'un domaine cible» (Fauconnier, 1997b, p.102).

Le point important est que nous sommes passés d'un lien à une *mise en correspondance* : «l'analogie suppose une mise en correspondance de deux domaines : le domaine “cible” auquel appartient le problème posé et un domaine de référence qui est évoqué par le sujet à l'occasion de la résolution du problème» (Cauzinille-Marmèche, Mathieu & Weil-Barais, 1985, p.50). En conséquence, «l'analogie est un *mécanisme* cognitif puissant qui permet de considérer deux domaines comme similaires sur la base de systèmes connectés de relations qu'ils entretiennent entre eux» (Markman, 1997, p.373, nous soulignons).
Ce passage d'une juxtaposition de domaines à une mise en correspondance d'éléments précis de ces domaines (Hall, 1986) fait que ce mécanisme de mises en correspondance (*mapping*) va être privilégié dans les définitions que l'on peut trouver de l'analogie en psychologie[17] :

> «L'analogie est un mapping d'une connaissance d'un domaine (la source) sur un autre (la cible), lequel transporte un système de relations présent entre les objets de la source sur les objets de la cible. Ainsi une analogie est la façon dont nous faisons converger des relations communes indépendamment des objets dans lesquels ces relations sont inscrites» (Gentner, 1989, p.201).

> «Au cœur de la pensée analogique repose le processus de *mapping* : la construction de correspondances ordonnées entre des éléments d'une source analogue et ceux d'une cible» (Holyoak & Thagard, 1989, p.295).

> «Les premiers pas de la pensée analogique sont l'*accès* et le *mapping*. L'accès est le processus par lequel nous retrouvons une *source* analogue familière (ou un schéma, ou une règle) en mémoire étant donné un problème *cible* nouveau comme indice. Le mapping est le processus par lequel on découvre quels sont éléments de la cible qui correspondent à ceux de la source» (Hummel & Holyoak, 1997, p.427).

Pourtant, nous souhaitons insister, comme le font Keith Stenning et Jon Oberlander, sur ce lien que représente originellement l'analogie : «une analogie se compose d'un objet et de quelque chose auquel cet objet est lié. Cette comparaison est faite afin de comprendre ou de raisonner à propos de cet objet, et *le but de l'analogie est de faciliter ces processus*» (1994, p.446, nous soulignons).

A la question “Qu'est-ce qui n'est pas de l'analogie ?” posée lors du premier colloque international sur l'analogie (*cf.* Holyoak, Gentner & Kokinov, 1998), Hofstadter répondit : “je vois un chien et je dis chien : c'est une analogie”. Plus précisément, «quand

[17] La même chose semble s'être produite en psycholinguistique : selon Joël Pynte (1986, p.190), «nous sommes passés de “qu'est-ce que la signification ?” à “qu'est-ce comprendre ?”», donc d'une notion à un mécanisme.

une chose nous en rappelle une autre, il y a eu formulation inconsciente d'une analogie» (Hofstadter, 1981, tr. fr. 1988, p.573).
Dans ce cas, nous pouvons établir un rapport entre la mémoire, les concepts et l'analogie : «c'est l'organisation de la mémoire qui définit ce que sont les concepts. [...] Rien n'est en soi conceptuel, cette qualité venant au contraire de la manière dont la chose en question est mise en rapport avec d'autres, qui sont également des concepts. En d'autres termes, la propriété d'être un concept est une propriété de connectivité [...]. Ainsi définis, les concepts apparaissent comme les propriétés structurelles, voire topologiques de vastes réseaux entortillés de spaghetti mentaux un peu collants» (Hofstadter, 1982d, tr. fr. 1988, p.547).

En conséquence, *l'analogie est ce qui sert de colle* dans ces réseaux. Le concept apparaît suite à une perception d'analogies qui entraîne l'émergence du concept alors reconnu dans deux objets différents. Et les concepts sont reliés entre eux de la même manière. Il semble alors évident de considérer l'analogie comme centrale dans l'activité cognitive. Mais comme le montre Philibert Secretan, ces liens se produisent dans un va-et-vient entre l'identité parfaite et une absence de relation : «on voit ainsi comment, ramenée à l'essentiel, l'analogie se résume définitoirement au rapport proportionnel *a priori* entre des réalités dont la dissemblance réelle est posée par la puissance de transgression de l'esprit, et dont la ressemblance formelle témoigne de l'emprise assimilante du même esprit. C'est bien de ce double mouvement qu'il a été continuellement question, mais tel que la raison n'y équivaut ni à l'*affirmation* d'une identité radicale, ni à une *négation* qui romperait toute relation» (Secrétan, 1984, p.123).
Ainsi, les liens que représentent les analogies ne sont pas *fixes*. L'étude de la perception de ces liens, centraux dans notre esprit "fonctionnant à l'analogie", nous semble donc plus adéquat pour comprendre, par exemple, pourquoi nous savons raisonner par analogie sans jamais avoir appris à le faire (Holyoak & Thagard, 1995). En effet, considérer l'analogie comme une mise en correspondance néglige, pour ne pas dire ignore, le phénomène de sélection des connaissances en se focalisant sur les appariements *une fois qu'a eu lieu cette perception d'analogies* (cf.**2.2.1.**). Considérer l'analogie comme un lien conceptuel nous permet en revanche de conserver la possibilité de la nature profondément fluide de nos cheminements mentaux intervenant dans une organisation conceptuelle fondée sur la perception d'analogies.

1.2.3. Le rôle de la perception d'analogies

La construction de nos connaissances en mémoire dépend des analogies que l'on perçoit. Le terme "similitude" est très souvent utilisé, mais est la plupart du temps défini en

association avec les termes "superficielle", "structurale" ou "contextuelle" (Ripoll, 1993) : nous préférons le terme plus général d'*analogie*, au sens défini supra, et de *perception d'analogies* pour insister sur le fait que les rapprochements effectués entre deux objets, s'ils peuvent être explicités *après coup*, n'en sont pas moins l'expression subjective d'un individu. En d'autres termes, l'individu perçoit certains liens entre certains objets, situations ou événements sans qu'il soit toujours possible d'en donner un compte rendu exhaustif et définitif. Ainsi, cette perception, influencée par des éléments environnementaux et par les connaissances du moment, permet d'intégrer plusieurs processus cognitifs nécessaires au développement d'une organisation conceptuelle individuelle et dynamique.

L'apprentissage de concepts[18] (et le rôle de l'apprentissage implicite et des métaphores) et la catégorisation (avec la reconnaissance des visages) sont les exemples les plus pertinents pour mettre en évidence cette construction et la façon dont elle s'effectue, mais son importance ne s'arrête pas là : en effet, «le fait le plus remarquable concernant nos capacités cognitives dans de nombreux domaines c'est leur faculté, sur la base d'une expérience passée, de produire la *bonne* réponse, et non la *même* réponse» (van Gelder, 1993, p.489). Ainsi, l'organisation conceptuelle de par sa nature influence son utilisation, et bien que l'on ne s'attachera ici qu'à montrer le rôle de la perception d'analogies dans sa manifestation la plus évidente, nous reviendrons (*cf*. section **5**.) sur son implication dans le raisonnement en général.

Apprentissage de concepts et organisation des connaissances

Lorsqu'un cours est dispensé, l'enseignant cherche à faire comprendre aux étudiants un discours — le *même* pour tous. Mais il ne sera pas compris de la *même* façon par tous les étudiants. Pourtant, «comprendre [...] veut dire comprendre la "même chose"» (Barth, 1993, p.275). En fait, les étudiants n'entendront pas et ne comprendront pas la même chose : ils ne percevront pas le même discours.

La raison est double : (1) son discours peut être interprété à tout moment de différentes façons — à ce niveau-là, c'est l'enseignant qui peut limiter les extensions sémantiques abusives possibles —, et (2) aucun des étudiants n'a le même bagage conceptuel — les expériences, les motivations et le degré d'expertise dans le domaine sont variables pour chaque individu. En d'autres termes, «apprendre par enseignement consiste à transformer l'organisation rationnelle des connaissances à apprendre en une organisation fonctionnelle» (Bastien, 1997, p.49).

[18] L'apprentissage de concepts ici ne doit pas être confondu avec une épreuve de classification dans laquelle le sujet doit classer "correctement" différents items (*cf*.**2.1.1**.). Il s'agit plus d'acquisition ou de perception d'un concept aboutissant à une meilleure compréhension d'un phénomène décrit, par exemple, par un enseignant.

Cette organisation fonctionnelle des connaissances dépend du contexte de l'apprentissage et du contexte d'utilisation de ces connaissances (Livingston & Andrews, 1997; Bastien, 1998). Elle décrit aussi l'organisation effective de nos connaissances lorsque nous résolvons des problèmes (à la différence d'une organisation rationnelle ou formelle qui décrit, par exemple, un cours structuré en parties et sous-parties). Plus précisément, «la contextualisation résulte des processus mêmes d'acquisition des connaissances individuelles, commande l'organisation de ces connaissances en mémoire et par suite leur utilisation en situation de résolution de problèmes» (Bastien, 1997, p.26). Et c'est cette contextualisation de la connaissance qui rend le raisonnement par analogie possible, raisonnement qui, bien qu'invalide logiquement, est fondamental dans l'acquisition et l'utilisation des connaissances (Bastien, 1998; Cauzinille-Marmèche & Didierjean, 1999)[19]. L'établissement de cette organisation fonctionnelle est par conséquent très différente d'un individu à l'autre, sans pour autant que cela signifie qu'un monde incompréhensible sépare chacun de nous.

Apprendre, dans ce sens, peut signifier aboutir aux mêmes fonctions supportées par un réseau de connaissances, ce réseau pouvant être différent d'un individu à l'autre[20]. Nous ajoutons qu'il est différent en raison de l'individualité de la perception d'analogies entre concepts et entre situations auxquelles les connaissances — construites à partir de ces concepts acquis entre deux objets perçus comme analogues — peuvent s'appliquer.
Selon Bastien, l'organisation fonctionnelle «procède des modalités mêmes de construction des connaissances humaines, telles qu'elles apparaissent très précocement» (Bastien, 1997, p.38). Des schèmes peuvent alors être organisés en mémoire selon les tâches qu'ils permettent de résoudre et à partir desquelles ils ont été construits (Cellérier, 1992; Bastien, 1997) : la conséquence de cette organisation est que l'on accède aux connaissances acquises par composition de proche en proche. En d'autres termes, des liens entre schèmes sont établis à partir de situations à résoudre et constituent les chemins d'accès à ces procédures spécialisées.
Les liens opérés entre des objets du monde peuvent ainsi engendrer des groupements qui, liés à une action sur le monde, forment des connaissances utilisables dans un contexte similaire. Bien sûr, cette organisation fonctionnelle évolue sans cesse en raison (1) des rapprochements qui peuvent devenir plus précis — avec le niveau d'expertise et l'habitude de résoudre un même type de problèmes — et (2) de rapprochements qui sont abandonnés. Cette évolution dépend en grande partie du degré d'expertise atteint à

---

[19] Nous reviendrons, dans la section **5**., sur l'aspect profondément *analogique* du raisonnement en général.
[20] Daniel Andler (1987, p.214) définit de façon très générale l'apprentissage comme étant «toute transformation d'un système cognitif ayant pour effet de conférer à ce système une nouvelle disposition».

l'intérieur de domaines de connaissances par l'individu (voir, par exemple, Murphy & Wright, 1984; Estes, 1993 — nous y reviendrons en **5.1.2.**).

La perception d'analogies peut alors apparaître à plusieurs niveaux dans l'apprentissage : au niveau de la compréhension d'un concept (la gardiennité), puis au niveau d'une généralisation plus abstraite (qu'est-ce que garder ?), enfin au niveau de l'utilisation de cette connaissance dans des situations similaires (quand est-ce utile ?).
Le passage du niveau conceptuel à un niveau plus abstrait s'effectue par l'assimilation des exemples dans lesquels on perçoit la même chose — c'est l'illustration de la phrase "plus ça change, plus c'est la même chose" : «on pressent l'existence d'un invariant profondément enfoui quelque part "là en-dessous" de tout cela, quelque chose que l'on ne peut parfaitement exprimer verbalement mais que l'on sait reconnaître clairement et à coup sûr en chaque nouvelle occasion, même en cas de violation d'un critère que jusque-là on considérait comme obligatoire. Il arrive que cette violation soit justement ce qui vous donne la certitude de voir *la même chose*, car elle vous révèle des possibilités de transposition non encore perçues jusque-là» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.622; voir aussi Frenay, 1996). Nous pouvons continuer avec notre exemple en considérant que le concept de gardiennité apparait dans : ce chien, ce concierge, le Cerbère mythologique, les colonnes caryatides, cette infirmière, ce frère (de celle qui pourrait être ma petite amie), cette araignée au dessus de ma porte, cette veuve (au chevet de son mari), etc. Au fur et à mesure de l'extension de la perception du même concept dans des exemples de plus en plus différents, une structure apparait, plus générale, qui permet de créer une définition plus abstraite : en fait, on finit par trouver une définition du *rôle* de "gardien" qui faisait le lien entre ces exemples disparates. Enfin, une fois que l'on s'est construit cette représentation du rôle de gardien, celle-ci va être associée à des situations concrètes dans lesquelles cette fonction peut servir.

Cette perception d'analogies, modulée par le contexte d'acquisition et d'utilisation des connaissances, joue donc un rôle dans la structuration de ces dernières dans la mesure où elles peuvent former, reformer et déformer les liens entre connaissances (voir, par exemple, Goldstone & Barsalou, 1998; Paour, 1995, pour son rôle dans l'éducabilité cognitive d'enfants retardés mentaux), c'est-à-dire les analogies elles-mêmes. Elle est également modulée par le niveau d'abstraction au sein desquels les rapprochements sont effectués : deux objets sont perçus comme analogues d'une certaine façon, et ces "types de similitudes" sont, selon Linda Smith (1989), extrêmement précoces. Si l'on reprend l'exemple du chien et du concierge, ce n'est pas parce qu'ils ont "quatre pattes/membres" qu'ils sont analogues, mais parce qu'ils jouent le même rôle. Nous verrons, lors de la présentation du micro-monde conçu par Hofstadter, des exemples plus précis de ces

niveaux et des conséquences qu'ils peuvent avoir sur les solutions envisagées pour résoudre un problème (*cf.* section **3.3.**). La perception d'analogies semble ainsi impliquée fondamentalement dans la structuration des connaissances, donc dans leur acquisition.

L'apprentissage implicite

A ce titre, les recherches sur l'*apprentissage implicite* (Reber, 1967) — mode d'adaptation dans lequel nous sommes sensibles à la structure d'une situation sans que celle-ci soit intentionnellement exploitée[21] — mettent en évidence des capacités qui semblent, en plus de paraître plus fondamentales et plus précoces que prévues (Meulemans, 1998), être dirigées vers une conception en termes de changements perceptifs et représentationnels dans le sens d'une meilleure correspondance avec ce qui est perçu comme pertinent dans l'environnement (Perruchet & Nicolas, 1998).

En général, les sujets des expériences conduites dans ce champ d'études doivent décider si des séries de lettres obéissent à une règle de construction qu'ils ne connaissent pas : les résultats (robustes) montrent qu'ils arrivent mieux que le hasard à distinguer les items produits par la règle des autres, sans pour autant être capables d'expliciter la règle en question.

Ces études aboutissent néanmoins, par les différences de résultats confortant l'un ou l'autre point de vue, à une controverse théorique entre une extraction implicite de règles abstraites et un stockage explicite d'exemplaires. Cependant, la dimension implicite-explicite varie d'un sujet à l'autre et cette variation ne serait pas due au degré d'abstraction d'une connaissance (Didierjean, 1997). La perception d'analogies contextualisées à différents niveaux d'abstraction peut aboutir à des rapprochements *implicites* et *non fixes* (voir Pólya & Tarnay, 1997), mais ces rapprochements inconscients (pouvant rendre similaires des items sans pouvoir expliquer ce qui les rapproche) sont probablement limités (Kihlstrom, 1996), nous dirons *orientés*[22].

Le rôle des métaphores

De nombreuses études défendent aussi le rôle privilégié (et précoce, voir Fourment, Emmenecker & Pantz, 1987; Fourment-Aptekman, 1996; Gottfried, 1997a, 1997b) des métaphores dans l'acquisition de connaissances : en effet, elles permettent — au risque

[21] Il est par exemple mis en œuvre dans l'acquisition de la langue maternelle, l'adaptation aux lois physiques, la formation des catégories ou la sensibilité perceptive.

[22] Nous pouvons rapprocher cette perception orientée de celle mise en œuvre lors d'interprétation de figures ambiguës ou d'illusions visuelles, mais aussi en ce qui concerne les formes vues dans la pénombre : de nombreuses formes "se transforment" en d'autres formes *possibles*.

souvent d'être interprétées différemment que l'interprétation souhaitée (mais cela fait partie de ce qui fait que nos réseaux de connaissances diffèrent; voir Giordan, 1993) — de créer des liens entre une connaissance ancienne, acquise, et une connaissance nouvelle, à acquérir.

Dans un apprentissage scientifique (Mayer, 1993), par exemple, la métaphore permet à l'apprenti de comprendre, par analogie avec une situation familière, un système de cause-à-effet; elle lui permet aussi, sous la forme de schémas ou de figures, de construire un modèle de fonctionnement du phénomène étudié — la “métaphore de l'ordinateur” ou la “métaphore du cerveau” comme support du fonctionnement mental sont à ce titre très illustratives.

Hugh Petrie et Rebecca Oshlag (1993) insistent d'ailleurs sur les nombreux domaines d'enseignement dans lesquels la métaphore est utilisée, et son utilisation s'étend pour une raison supplémentaire à l'efficacité de compréhension : la motivation. En effet, la métaphore permettrait de rapprocher l'enseignant des étudiants par des émotions partagées dans des expériences similaires. Ces auteurs insistent également sur deux aspects importants dans l'utilisation des métaphores et des analogies : (1) l'apprenant peut souvent contrôler son acquis en résumant le phénomène sous la forme d'une métaphore — métaphore qu'il n'aurait pas trouvé s'il n'avait pas compris[23] —, et tout au moins cela lui permet de réajuster les points flous; (2) l'enseignant peut utiliser des notions conceptuelles d'un domaine sur un autre pour tenter, du connu, de connaître l'inconnu : un exemple en est donné par la *théorie des cordes* en physique, dans laquelle «de proche en proche, on en vient à émettre l'idée que l'espace et le temps s'auto-organisent en fonction d'un principe analogue à la sélection darwinienne» (Smolin, 1998; voir aussi Goodman, 1978; Atlan, 1997).

Enfin, si la métaphore est souvent employée, on peut envisager qu'elle se prête bien à notre façon d'appréhender le monde et d'agir sur lui (Sticht, 1993; Gibbs, 1996).

La catégorisation

La perception d'analogies joue également un rôle très important dans notre capacité à catégoriser, à mettre ensemble des objets du monde (Goldstone, 1994; Ramscar, Pain & Cooper, 1997; Darrington, Lingstadt & Ramscar, 1998; Archambault & Schyns, 1998; Hampton, 1998) — capacité qui *précède* et *participe* à la structuration des connaissances (Bastien, 1997; Sander, 1997; Cabrera, 1998; Gärdenfors, 1998).

[23] Andrée Tiberghien (1994, p.84) parle d'apprentissage consistant «à donner la même interprétation à deux situations précédemment interprétées différemment» (voir aussi Barth, 1993).

Eco rappelle ainsi l'expérience de Marco Polo arrivant à Sumatra et voyant des rhinocéros : «il s'agit d'animaux qu'il n'a jamais vus. Par analogie avec d'autres animaux connus, il en distingue le corps, les quatre pattes et la corne. Or, sa culture mettait également à sa disposition la notion de licorne, laquelle était justement définie comme un quadrupède avec une corne sur la tête. Marco Polo désigne donc ces animaux du nom de licornes. Puis il s'empresse, chroniqueur honnête et pointilleux, de nous dire que ces licornes sont néanmoins fort étranges» (1997, tr. fr. 1999, p.61). En particulier, celles-ci n'étaient pas blanches, mais *noires*...
La catégorisation semble nécessaire pour que l'on puisse mettre de l'ordre dans les innombrables différences qui font que les choses *ne se ressemblent pas tout à fait*. Jean-Sylvain Liénard (1999) insiste d'ailleurs beaucoup sur cette variabilité des données, la "partie cachée" de la catégorisation, et sur la sélection qui doit être opérée pour localiser ou identifier ce qui est pertinent. Cette identification partielle peut influencer une conclusion sur la causalité des événements, comme dans la croyance d'Aristote sur la formation des comètes : étant donné qu'il y avait des perturbations terrestres à leur passage, il avait conclu qu'elles étaient éjectées de la Terre elle-même[24].
Ainsi, rendre équivalentes *d'une façon* des choses *différentes* permet l'adaptation conceptuelle rendant possible une compréhension du monde environnant, donc la survie. Mais cette catégorisation ne doit pas entraîner une conception rigide des catégories : comme dans l'exemple de la lettre "A" (*cf.* **1.1.2.**), un arbre est différent d'un autre, d'un dessin d'arbre, d'une sculpture d'arbre, d'une peinture d'arbre... mais peut être considéré comme un "arbre" si on le souhaite. En fait, cela dépend du niveau d'abstraction privilégié : l'arbre peut disparaître sous le qualificatif "œuvre d'art" dans le cas de la sculpture, et être ainsi mis en rapport avec la Vénus de Milo, par exemple — en particulier si cet arbre a peu de branches... Par ailleurs, une forme rapide de catégorisation a toujours lieu même lorsque une grande partie des éléments *théoriquement* nécessaires n'est pas perçue (Berrety, Todd & Blythe, 1997).

L'important ici est que la perception d'analogies est fortement impliquée dans des catégories contextualisées en fonction du but poursuivi. Les exemples pouvant le mieux illustrer son rôle sont peut être deux exemples célèbres montrant les difficultés à catégoriser dans l'évolution des espèces l'*ornithorynque* et un ver fossilisé du nom d'*hallucigenia*. Dans le cas de l'ornithorynque, les premiers colons australiens (fin du XVIIIème siècle) le prirent pour une sorte de taupe vivant dans l'eau, et l'appelèrent *watermole* (taupe d'eau). Mais la présence du bec n'orientait pas pour le choix de la

[24] Une croyance du Limousin considérait les comètes comme des allumettes que jetait le Diable après avoir allumé sa pipe... — voir Seignolle (1964) pour de nombreux exemples de ce type; nous pouvons également faire allusion à tout ce qui relève de l'ésotérisme, fondamentalement basé sur des lois de causalité analogiques.

catégorie "taupe". On le nomma alors *duck-mole* (canard d'eau). Examiné en Angleterre en 1799 sous une version empaillée, la communauté des naturalistes soupçonna même une farce d'un taxidermiste. Ensuite... il fallut 86 ans de tentatives pour le faire "entrer" dans des cases existantes, et finalement en créer une nouvelle (*cf.* Eco, 1997, tr. fr. 1999, pp.246-253). Dans le cas de l'*hallucigenia*, le problème est inversé : il fut d'abord considéré comme un animal appartenant à un embranchement inconnu. Il fallut une dizaine d'années, et de nouveaux spécimens mieux conservés, pour se rendre compte qu'on n'avait pas mis l'animal "sur ses pieds", mais "sur le dos" (de Bonis, 1997; Levinton, 1997). Dès que le renversement fut effectué, on pu assimilier l'intrus au groupe des Onychophores.

Ces deux contre-exemples montrent la volonté de mettre ensemble ce qui va ensemble, ou plutôt le problème que cela pose quand "ça ne marche pas". Bien sûr, le but était explicitement de faire des catégories d'espèces, donc bien délimitées — mais bien souvent, ces catégories ont été modifiées au fil du temps[25].

Mais il en va de même pour les catégories que tout un chacun se forme régulièrement afin d'agir sur le monde, à la différence près qu'elles changent beaucoup plus vite en fonction des évolutions parallèles de l'expérience, des connaissances, des contextes d'utilisation et des buts poursuivis (voir Pacteau, 1995).

La reconnaissance de visages

Cette capacité à catégoriser se retrouve évidemment dans le problème de la reconnaissance de visages. En particulier, Paul Churchland (1995, tr. fr. 1999, pp.42-48) relate la construction de la figure de Ronald Reagan par le logiciel *Face Bender* de Susan Brennan (1985). Ce logiciel permet de déformer les figures qu'il construit et de créer ainsi une caricature de Reagan. Le fait intéressant est que la caricature est plus facilement reconnaissable comme étant Reagan que l'original : «cela peut s'expliquer par le fait que la caricature de Reagan est "moins ambiguë" — et même plus éloignée de tout autre visage réel alternatif dans l'espace facial — que le propre visage de Reagan. La caricature "ne pourrait correspondre à personne d'autre que lui"» (Churchland, 1995, tr. fr. 1999, p.46; voir aussi Tanaka & Simon, 1996).

Cette perception est *orientée* dans la mesure où les caractéristiques essentielles de Reagan (ce qui est déformé, comme le définit une caricature) ressortent, le rendant moins analogue à d'autres visages. On rejoint ici ce que disait Wittgenstein en 1945 sur la ressemblance de famille — «un réseau complexe d'analogies qui s'entrecroisent et

[25] Un exemple similaire peut être fourni dans le cadre des classements symptomatologiques en psychiatrie, étiquettant une pathologie différente selon le pays où les symptomes sont répertoriés.

s'enveloppent les unes aux autres» (Wittgenstein, 1953, p.171) — hormis que dans ce cas, les aspects les moins comparables sont exagérés.
Nous retrouvons ce principe dans l'attribution d'une causalité maléfique engendrant les "monstres humains", *i.e.* ceux qui ne ressemblant pas à leurs congénères : c'est parce qu'un couple eut un désir *bestial* qu'il engendre un *homme-bête* — voir Guillaume Orvas qui, après avoir parlé des sirènes et des tritons, conclut en ces termes : «ces monstres marins, homologues de l'être humain, témoignent à leur manière de l'universelle loi de l'analogie. Si la profusion des formes naturelles ne peut dégénérer en chaos, c'est en effet parce qu'un réseau complexe de correspondances l'organise» (1998, p.21).

L'interdépendance qui existe entre les conditions environnementales dans laquelle a lieu la perception, le but poursuivi s'il en est un, l'expérience ou le niveau d'expertise du sujet percevant et l'organisation conceptuelle du moment montre le rôle de guidage, d'orientation, joué par la perception d'analogies, si l'on considère l'analogie comme un lien entre concepts dans un premier temps, entre connaissances au fur et à mesure de l'évolution de leur structuration.
La perception d'analogies, fondamentale dans la construction dynamique (car évolutive) de l'organisation conceptuelle (voir Jones & Smith, 1993 et Smith & Jones, 1993; Kokinov, 1998), joue alors, de par cette organisation obtenue (mais fluide), un rôle non moins fondamental dans les solutions *créatives* que l'on peut fournir face à des problèmes, c'est-à-dire des solutions *adaptées* à des situations dont nous n'avions pas de solution au départ.

1.2.4. Percevoir une chose comme une autre, moteur de la créativité

Nous venons de voir le rôle que joue la perception d'analogies dans l'organisation conceptuelle des connaissances, en particulier dans l'émergence de concepts entre deux objets ou situations différentes mais perçues comme analogues dans un contexte particulier. Cette perception est également créatrice quand nous sommes capables d'envisager les variations d'un même objet (Vivicorsi, 1999).
Aristote défendait déjà l'idée que toute forme d'art est imitatif (de *mimèsis*) — seuls les moyens de cette imitation diffèrent — et que «l'instinct d'imitation est naturel à l'homme dès l'enfance» (Aristote, *Poétique*, 1448b 4-9). Il met aussi le poète au statut de maître des contrefactuels, contrairement à l'historien, puisque, à l'inverse de ce dernier qui recherche le vrai, le premier "choisit" *une* des réalités possibles (Arrighetti, 1999)[26]. D'un

[26] Platon est plus réducteur et considère que la *mimèsis* n'est qu'une reproduction de la réalité; un bel exemple de l'avantage de cette réduction se trouve dans le *Timée*, le démiurge fabriquant le monde en "copiant" les idées (Arrighetti, 1999).

point de vue cognitif, nous pouvons noter que les choses ne sont pas forcément liées de façon vraisemblables ou nécessaires, le poète étant en quelque sorte dévolu au rôle d'explorer ces liaisons non *conformes*. Ainsi, «nous sommes essentiellement des imitateurs et non pas des créateurs. Ce que nous appelons nos "créations" ne sont que des variations sur ce qui existe» (Shalom, 1959, p.459).

La créativité : des variations sur un thème

S'inspirant de travaux artistiques créés dans l'atelier de William Huff[27] dans les années soixante, Hofstadter (1983) défend l'idée que «le processus de perception est [...] intimement lié à celui de génération, et la boucle est ainsi bouclée : de nouvelles perceptions ouvrent de nouvelles voies d'exploration, et l'exploration de voies nouvelles conduit à de nouvelles perceptions» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.199).

Ainsi, lorsque vous regardez un tableau, vous percevez au-delà de ce qui est représenté dans le tableau, parfois au-delà de ce que l'artiste a voulu y intégrer.
Rubik a par exemple inventé le rubicube dans les années quatre-vingts, représentant un casse-tête sous forme de cube. Cette invention fut ensuite reprise et développée sous de nombreuses formes géométriques que Rubik n'avait pas imaginé. Un *thème*, la "rubicubicité", traverse ainsi l'aspect concret de l'objet de perception qui peut alors être déformé, exploité, et subir des variations. Pour Hofstadter, ces «variations sur un thème sont la véritable essence de la créativité» (Hofstadter, 1982a, tr. fr. 1988, p.221). Plus précisément, ce sont des variations *conditionnelles*, dans la mesure ou elles dépendent (1) d'une perception orientée et (2) de ce qui peut varier.
En d'autres termes, les variations vont dépendre des glissements conceptuels à notre portée, c'est-à-dire du fait de voir «*une chose comme si elle en était une autre*» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.240). La perception d'analogies étant dépendante de l'organisation conceptuelle de l'individu, elle est alors orientée par son niveau d'expertise (voir Washburn, 1998, sur la perception de formes par des artistes, étudiants en art et non artistes; voir aussi le livre édité par Mario Borillo et Anne Sauvageot (1996) pour une extension des liens entre créativité et perceptions sensorielles).

[27] Inspiré lui-même d'Escher, Huff créa les déformations de parquets abstraits; ils sont dessinés à l'aide de courbes et de droites et doivent, en obéissant à certains critères (dont le changement d'une seule dimension à la fois), être transformés, de gauche à droite, d'une structure géométrique en une autre structure géométrique.

Cette propension aux variations comme moteur de la créativité est également mise en avant par des auteurs comme Shepard (1990, tr. fr. 1992, p.166) : «notre système visuel/ cognitif affronte un plus grand défi devant un objet connu transformé juste assez pour que nous le reconnaissions encore dans le résultat obtenu et que nous nous rendions en même temps compte que ce résultat n'est plus le dit objet. Nous prenons alors conscience qu'il avait, au départ, des potentialités que nous n'avions pas soupçonnées. Et une représentation d'un objet significatif transformé en un autre objet significatif peut devenir doublement significatif».

De nombreux artistes jouent sur ces variations aux frontières des thèmes, où des éléments jouent plusieurs rôles — chez des peintres comme Salvador Dali ou René Magritte, des dessinateurs comme Jean Solé (1991), des photographes comme J.K. Potter (1993), qui confrontent des objets soit pour aboutir à une figure ambiguë, soit pour engendrer un véritable *blending* ou les deux figures sont véritablement mélangées, soit encore pour créer une inversion des rôles[28]. La créativité au sens artistique pourrait alors être considérée comme l'aptitude à percevoir les bonnes variations (Vivicorsi, 1998a).

Ce «surgissement d'une perception nouvelle», lorsqu'intervient «le déclic d'une hypothèse» (Schlanger, 1988, p.78; voir aussi Tijus, 1985) est souvent décrit dans un cadre de créativité reconnue (artistique) ou purement scientifique (Boden, 1994). La science-fiction est d'ailleurs un excellent rassemblement d'hypothèses nouvelles (Souriau, 1993, 1999). Pour Arthur Koestler (1964), cette perception nouvelle apparaît lorsque deux espaces conceptuels sont réunis par un rapport analogique qui n'avait pas été dégagé, en créant ainsi un troisième nouveau (voir Fauconnier, 1997b, et ses *blending spaces*).

Ce rapprochement fécond en science (Ueda, 1997) l'est tout aussi en matière d'humour, le rire dépendant d'une mise en rapport incongrue (Hofstadter & Gabora, 1989; voir aussi Tijus et Moulin, 1997, qui parlent de "changement d'affectation catégorielle"). Peter Wason résume d'ailleurs le propos de la créativité comme étant le fait «qu'une pomme peut être ajoutée impunément à une banane, et même avec satisfaction» (1995, p.298).

---

[28] Voir par exemple : pour Dali, *Apparition d'un visage et d'un compotier sur une plage* (1938), *L'image disparaît* (1938), *Marché d'esclaves avec apparition du buste invisible de Voltaire* (1940), *Le Toréro hallucinogène* (1968-1970); pour Magritte, *Les compagnons de la peur* (1942), *Le viol* (1945), *La philosophie dans le boudoir* (1947), *Le domaine enchanté* (1952). Selon Bernard Doyon, il semblerait même que Michel-Ange ait caché, dans la Chapelle Sixtine, une coupe de cerveau et une coupe du cœur — la dissection anatomique étant à l'époque interdite...

La créativité : la recherche d'une solution adaptée

Souvent, cette perception nouvelle est induite par la prise en compte d'un problème induisant une recherche de solutions créatives : en d'autres termes, il faut un minimum de contraintes pour l'exercice de la créativité (sur le développement d'instantiations nouvelles de concepts existants, voir Ward & Sifonis, 1997), nous dirons que ces contraintes orientent (filtrent) les analogies (donc les glissements) sélectionnées pour aboutir à une solution satisfaisante.
Philip Johnson-Laird (1989a) parle de contraintes qui permettent plus facilement de retrouver une source utile pour établir l'analogie — c'est pour cela qu'il faut non seulement des contraintes pour orienter cette recherche en mémoire, mais également des contraintes qui orientent l'inférence vers un rapprochement pouvant engendrer une solution adaptée.
Il ne faut pas assimiler pour autant, comme le fait Herbert Simon (1988), la créativité à la résolution de problèmes : la première est incluse dans la seconde, mais joue un rôle dans la création de nouveaux problèmes (Csikszentmihalyi, 1988, parle ainsi de motivation). En fait, la créativité résulte de ce va-et-vient entre la recherche de solutions et la perception des problèmes qui les rendent nécessaires (Gigerenzer, 1994; Bonnardel, 1999; voir aussi Letzkus, 1999). Ce va-et-vient interagit avec ce que peut faire l'individu dans le contexte du moment, donc dépend à la fois des ressources conceptuelles, de la personnalité et de l'environnement de l'individu (Lubart, 1994, 1997; voir aussi Coulet, 1999).

Ce jeu sur les frontières des thèmes pourrait n'être qu'une façon astucieuse d'être créatif[29]. Mais étant donné que ces variations procèdent par glissements conceptuels, lesquels sont possibles par la perception d'analogies (efficace en raison du rôle des analogies elles-mêmes dans la structuration des connaissances), *être créatif pourrait signifier être intelligent* — dans le sens où une réponse *adaptée* est trouvée pour résoudre un problème[30].
Plus précisément, «l'analogie et la réminiscence, qu'elles soient ou non précises, guident toutes nos pensées. Entrer en résonance avec les moindres ressemblances, c'est l'un des traits de l'intelligence, pour le meilleur et pour le pire» (Hofstadter, 1981, tr. fr. 1988, p.580). En effet, des réponses viables, ou élégantes, signifient des réponses adaptées. Nous opérons sur le monde en le catégorisant et en reconnaissant des situations qui «ont marché» — des études sont d'ailleurs entreprises dans le cadre de la *Gestalt theory* pour le

[29] Hofstadter (1985) lui même propose son art à volutes, ou musique métaphorique visuelle, et ses ambigrammes (des mots se lisant dans plusieurs sens en raison de déformations de lettres; voir Scott Kim, sur le site Illusion Works, note 9).
[30] Voir Peters (1998), ainsi que le rapport d'Ulric Neisser et ses collègues (1996) sur les différentes conceptions de l'intelligence et sur la difficulté de trouver une définition non restrictive.

raisonnement en droit, où les exemples de jurisprudence sont nombreux (*cf*. Hunter & Indurkhya, 1998).

Plus généralement, nous avons dû faire face pour survivre à de nombreuses situations nouvelles où il était nécessaire d'avoir les bonnes perceptions, les bonnes adaptations (Prochiantz, 1998; Coulet, 1999). Faire un croquis avant d'attaquer une bête féroce est une *bonne* analogie — elle permet une planification. Faire comme l'écureuil et enterrer sa nourriture en est une *mauvaise* — la nourriture pourrit. Par conséquent, «*les variations de l'aptitude à créer des analogies peuvent être une question de vie ou de mort.* C'est pourquoi cela a un sens de parler de "bonne réponse" même en matière d'analogies» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.603). D'autres auteurs insistent sur le fait que cette fluidité conceptuelle inhérente à ce mécanisme de génération représente la pensée, essentiellement générative (voir le livre édité par Ward, Smith & Vaid, 1997, ou celui de Holyoak & Thagard, 1995).

Nous verrons dans la section **5**. un cadre théorique présentant l'analogie et la perception d'analogies comme fondamentales dans le raisonnement. Pour l'instant, la présentation des bases théoriques de la fluidité conceptuelle dans lesquelles nous nous situons étant faite, nous allons conclure cette section sur les nombreuses manifestations de cette capacité et la nécessité (1) de l'étudier et (2) d'envisager, comme nous l'avons fait, une architecture cognitive la permettant.

1.3. Conclusion : De la nécessité d'étudier la fluidité conceptuelle

> Pour ne plus penser à la grippe qui le guettait, Mangeclous s'approcha de la portière. Contre la courbe du coteau quatre rubans d'acier brillotants furent précipités. Hurlant de peur, le train plongea dans un tunnel mugissant. Cris de fers, effarouchements de métaux en douleur. Sorti du tunnel, le train redevint serein. Dos courbés, les arbres allaient à reculons sous le gros œil idiot de la lune. Une mare solitaire brilla puis s'éclipsa. Dans le cadre de la portière, débandade folle de plaines, de blés, d'arbres engouffrés, de poteaux télégraphiques abattus. Une locomotive passa avec des souffles désireux et chauds. Mangeclous salua le mécanicien pour s'imaginer ministre. Odeurs d'herbes nocturnes qu'un cheval interrogeait avec tristesse. Là-haut, les étoiles ne voyageaient pas. Le train hésita, ralentit et le rail protesta avec des glapissements de petit chien fouetté. Soudain Mangeclous se rappela que Salomon était une montagne de microbes.
>
> Albert Cohen, 1938, 1998, pp.204-205

Nous avons, dans cette première section, esquissé le cadre théorique que nous pensons adéquat à la description et à l'explication de la fluidité conceptuelle. Celle-ci est possible par le biais d'une structuration des connaissances réalisées *à la base* par la perception d'analogies (voir Neisser, 1987). Cette perception d'analogies est le principal élément de la conceptualisation du monde environnant, et par la suite d'interactions avec ce monde, devient un déclencheur de glissements conceptuels rendant possible une adaptation à ces situations. Les analogies, en ce sens, peuvent alors être considérées comme des liens entre concepts d'une part, entre connaissances d'autre part. Ainsi, nous défendons ici la plausibilité de cette architecture cognitive, et nous l'envisageons parce que la fluidité conceptuelle est ubiquitaire dans nos activités cognitives.

Nous avons déjà évoqué l'aisance avec laquelle sont manipulés des contrefactuels, ainsi que certains exemples artistiques. Nous voudrions présenter une liste d'activités plus ou moins quotidiennes dans lesquelles *est nécessaire* une fluidité conceptuelle :

• L'évocation de contrefactuels du type “ça aurait pu arriver”, “ça a faillit arriver”, “si ç'était arrivé”, ou ceux plus subtils comme celui qu'Alice disant à sa chatte Kitty «Supposons que je suis une hyène affamée et que vous êtes un os!» (Carroll, 1872, tr. fr. 1963, p.166)...

• L'utilisation des "moi aussi", "ça m'est arrivé", "j'ai fait pareil", "les gens comme moi", "fais comme moi", très vite compris même dans des situations où un ami nous dit "je lui ai fait un enfant", à quoi nous répondons "moi aussi"...
• Se mettre à la place de quelqu'un, jouer un rôle (comme dans les jeux de rôles), créer un autre monde (comme l'a fait J.R.R. Tolkien, 1966) ou un monde futuriste (en science-fiction) ou simplement différent (chez les enfants)...
• La diffusion de la rumeur, les témoignages...
• L'utilisation d'analogies du type "aujourd'hui, c'est moi ton père", ou "c'est le Coltrane de la batterie" (Didier Lockwood parlant du batteur Christian Vander)...
• La compréhension ou production de métaphores du type "Les hommes sont des loups", de métaphores plus éducatives comme lorsqu'on décrit la mémoire comme une éponge ou une bibliothèque, ou plus complexes comme celle énoncée par l'Organisation Nationale des Femmes qui, protestant qu'un homme accusé de viol ait été acquité car la victime portait des vêtements provoquants, déclara que c'est comme si on disait qu'une personne portant une montre de valeur demande à être volée (Mitchell, 1993)...
• Les généralisations du type "les corses sont des fainéants" et les associations d'idées...
• La reconnaissance de formes, de personnes, de lieux, d'événements, à partir d'éléments réels, de photographies, d'images ou de textes : la reconnaissance de la lettre "A" ou d'un style alphabétique, d'Alfred Hitchcock par sa silhouette, mais aussi les raccourcis entre des rues de Marseille inventés dans le film *Taxi* qui n'ont pas dupés les marseillais, les correspondances effectuées d'une guerre ou d'une crise politique pour en décrire une autre...
• L'apprentissage de concepts et de savoir-faire, l'apprentissage par imitation (particulièrement sous un aspect social, voir Miller & Dollard, 1941)...
• Les erreurs de langage (*cf.* Hofstadter & Moser, 1989)...
• La création de surnoms (*cf.* par exemple la couverture de *Mangeclous* d'Albert Cohen (1938) sur laquelle on peut lire 15 surnoms différents) ou de nouveaux mots résumant une phrase ou une situation (comme le fait d'être chocoolique — 'alcoolique' en chocolat), ou de mots inventés par les enfants (comme fermette pour "petite poignée") ou encore lors d'ateliers d'*étymocriture* (voir le livre édité par Jean-Louis Mathieu, 1997)...
• Tous les problèmes relatifs à la polysémie et au sens figuré, notamment en littérature — ce qui rend justifiée une analyse proprement littéraire, *i.e. une analyse du caché*...
• Produire et comprendre des slogans publicitaires ou articles de journaux au titre évocateur, comme celui paru dans le journal *The Sun* du 8 juillet 1997 présentant la "version canine" des Spice Girls, *The Spice Grrrs*, avec le sous-titre : *The Sun is N°1 for Growl Power* (à la place de *Girl Power*)...
• La reconnaissance d'un style artistique ou d'un morceau de musique connu joué dans un autre style...

• La création "dans le style de..." comme le font certains littéraires ou certains musiciens...

• Produire et comprendre des caricatures où des parodies cinématographiques, littéraires, musicales ou politiques (voir, par exemple, les "Guignols")...

• La création d'adaptations cinématographiques ou littéraires, ou de morceaux musicaux repris différemment, comme le morceau *Expression* de John Coltrane, saxophoniste, joué par un trio sans saxophone...

• Faire de la poésie, de la peinture, de la musique, de la politique : toute tentative d'exprimer quelque chose de plusieurs façons...

• La contraction de texte, ou la traduction, en particulier littéraire (*cf.* Hofstadter, 1997b, avec ses 88 traductions anglaises du poème *Ma Mignonne* de Clément Marot), dans laquelle des procédés rhétoriques ou stylistiques doivent permettre de rendre les mêmes sensations (*cf.* Parisot, 1971, sur la traduction des jeux de mots d'*Alice* de Lewis Carroll)...

• La production et la compréhension de l'humour sous toutes ses formes (blagues, jeux de mots, "cartoons", caricatures), comme cet exemple — proche de nous — emprunté à Fauconnier (1997a) :

> Pourquoi Dieu n'est-il pas titulaire ? Il n'a publié qu'un seul livre. Il était en Hébreu. Il ne contenait aucune référence. Il ne l'a pas publié dans un journal référencé. On a des doutes sur le fait qu'Il l'ait écrit lui-même. Il n'est pas connu pour sa coopération. Bien sûr, Il a créé le monde, mais qu'a-t-il fait dernièrement ? Il n'a eu aucune permission d'un Comité pour travailler sur des sujets humains. Lorsqu'une expérience va de travers, Il tente d'étouffer l'affaire en noyant tous les sujets. Quand une partie des sujets ne se comporte pas comme prévue, Il efface totalement l'échantillon. Il se rend très rarement en cours, en disant simplement à Ses étudiants de lire le Livre. Il semblerait qu'Il laisse parfois Son Fils enseigner. Bien qu'Il n'ait que 10 exigences, Ses étudiants échouent souvent à Ses examens. Il renvoya Ses deux premiers étudiants pour apprendre. Ses heures de permanence sont rares et généralement situées au sommet d'une montagne.

Ces exemples, dans lesquels sont plus visibles les phénomènes liés à l'adaptation conceptuelle, mettent en évidence l'ubiquité de cette fluidité et surtout sa mise en œuvre naturelle — en particulier par l'utilisation généralisée de contrefactuels et l'aisance avec laquelle nous comprenons la publicité et l'humour. Cette fluidité (dont l'orientation dépend de tous les facteurs évoqués en **1.2.**) n'est pas toujours visible, mais est toujours *possible*, en tant que mode de pensée privilégié au sein de nos activités quotidiennes et créatives. *Son étude en psychologie ne peut donc être ignorée.*

L'architecture cognitive que nous défendons, basée sur la perceptions d'analogies, permet cette fluidité. Qu'en est-il des mécanismes par lesquels elle pourrait s'effectuer ? Etant donné l'importance des rapprochements conceptuels dans ce phénomène, la création d'analogies (*analogy-making*) est centrale dans la mise en œuvre de cette capacité.

Nous allons donc examiner les réponses que fournissent les travaux sur la catégorisation et sur le raisonnement par analogie, ainsi que différentes modélisations de l'architecture cognitive sous-tendant les mécanismes qui découlent de ces modèles. Ce faisant, nous privilégions comme critère nécessaire le fait que *les mécanismes sous-jacents à une fluidité dont nous avons montré l'ubiquité doivent être généraux*.

2. Les travaux liés à la fluidité conceptuelle : Critiques expérimentales et théoriques

> Notre siècle est obsédé par ces sciences de l'homme, comme par une nostalgie ou un remords, mais ne peut que, impuissant, disséquer un cadavre à grands coups d'expérimentalisme psychologique, de pansexualisme plus ou moins paré des plumes de la linguistique, de facteurs sociologiques dominants — et contradictoires —, d'analyses historique ou linguistique.
> Ces dangereux procédés réductifs sont tous monopolisants, donc totalitaires, et ne font qu'aggraver la faillite. La mystification qu'ils impliquent consiste, comme un proverbe célèbre le dit, à regarder le doigt plutôt que la lune désignée par ce dernier. Plus grave que la mort de Dieu — qui du moins laissait se justifier le meurtrier — est l'ignorance des dieux.
>
> Gilbert Durand, 1975, pp.11-12

La fluidité conceptuelle n'est pas ignorée dans les études en psychologie. Cependant, si l'on conçoit qu'elle s'infiltre partout, il faut aussi accepter le fait qu'elle n'est pas obligée d'apparaître. En effet, la recherche d'une réponse adaptée parmi une multiplicité de réponses possibles n'est pas toujours celle qui aboutit à une réponse créative, et ceci pour au moins une raison : cette dernière n'est pas toujours *nécessaire*. Cette recherche correspond à un parcours à travers nos réseaux de connaissances élaborés au fur et à mesure de notre expérience et de notre apprentissage.
Il semble établi que dans de nombreux cas de figure, des "raccourcis" (on parle aussi d'"heuristiques") ont été favorisés pour fournir une réponse *adaptée* (*i.e.*, contextuelle) au problème posé, en particulier lorsqu'un halo d'incertitude entoure certaines informations du problème — on parle alors de "biais" cognitifs (*cf.* Tversky & Kahneman, 1974; Caverni, Fabre & Gonzalez, 1990; Legrenzi & Sonino, 1998). Mais cette notion de biais ne doit pas masquer le caractère adaptatif que certains "raccourcis" facilitent (Keane, 1990). En d'autres termes, une non utilisation de la fluidité n'est pas synonyme d'une *absence* de celle-ci.

Nous avons choisi de ne nous intéresser qu'à une certaine partie des études concernant cette fluidité : la catégorisation et le raisonnement par analogie.

Les études sur la créativité elle-même y auraient leur place. Cependant, nous défendons une fluidité conceptuelle *non restreinte à des problèmes de créativité explicite*, dans laquelle il est justement demandé d'utiliser cette fluidité (voir, par exemple, Smith, Ward & Schumacher, 1993; Ward, 1994; Lubart & Sternberg, 1995; Marsh, Landau & Hicks, 1996; Cacciari, Levorato & Cicogna, 1997; Costello & Keane, 1997; Hampton, 1997; Murphy, 1997; Brédart, Ward & Marczewski, 1998; Marsh, Ward & Landau, 1999). L'objectif dans cette section est plutôt de montrer qu'une partie de la recherche concernant la catégorisation d'une part, le raisonnement par analogie d'autre part, néglige cette fluidité en ne permettant pas son apparition. Les auteurs des recherches que nous critiquons concluent sur une certaine organisation conceptuelle jugée réaliste, ou sur certaines conditions d'utilisation d'un type de raisonnement, et modélisent ensuite l'un et l'autre des phénomènes étudiés. Le problème auquel il nous paraît important de revenir est justement l'explication des processus produisant les résultats obtenus et la justification des modèles comparés sans avoir permis une fluidité conceptuelle.

Ainsi, *en nous plaçant dans des recherches générales liées à la fluidité potentiellement étudiable*, il s'avère nécessaire de bien observer ce qu'on demande au sujet, ce qu'il peut utiliser pour aboutir à cette requête, les types de solutions qu'il doit fournir, et les formalismes ou systèmes imaginés pour rendre compte des données obtenues. Nous précisons ensuite les insuffisances d'une expérimentation et d'une modélisation ne respectant pas la possibilité de l'apparition d'une fluidité conceptuelle, pourtant souvent utilisée dans la vie quotidienne. Nous concluons alors de la manière suivante : *si nous voulons étudier la fluidité conceptuelle*, nous devons utiliser un type d'expérimentation centré sur la multiplicité des réponses possibles au même problème, et imposer une exigence pour la modélisation à respecter cette possibilité de réponses multiples.

2.1. La catégorisation

> Allons, allons, vous liquidez un homme en deux trois coups de cuillers à pot! Ça mérite le respect, un homme! Quel mystère, quel abîme, quelles surprises; tout un monde.
> — D'accord, d'accord, mais si tout le monde se met à être tout un monde! Faut bien liquider.
>
> Norge, 1969, p.19

Catégoriser permet de réduire la complexité de nos interactions avec l'environnement : nous classons différents objets comme équivalents, nous identifions des objets du monde à partir d'une reconnaissance par familiarité, nous pouvons réutiliser des connaissances déjà acquises sur des objets que nous pouvons classer et nous pouvons ordonner et relier des classes d'objets et d'événements. Vue sous cet angle, la catégorisation ressemble fort à ce que nous avons nommé fluidité conceptuelle.
Cependant, la catégorisation est considérée comme un moyen de réduire une complexité *donnée*, la fluidité est plutôt une capacité à s'adapter à une complexité *variable*. C'est pourquoi les travaux sur la catégorisation peuvent être critiqués sur la base d'une expérimentation mettant en scène un monde supposé fixe et partagé.

2.1.1. Etudes et modélisation de l'organisation conceptuelle

L'identification de concepts

Une première technique d'expérimentation intitulée l'*identification de concepts* consiste à classer des objets, souvent géométriques, sur la base d'une différence ou d'une communauté de propriétés. Classiquement, cette catégorisation repose sur l'identification d'une règle logique. Par exemple, des carrés, des triangles et des cercles peuvent être rouges, noirs ou blancs, et il faut repérer les objets qui sont carrés et rouges (conjonction), carrés ou rouges (disjonction), carrés si rouges (règle conditionnelle), etc (voir Reed, 1996, tr. fr. 1999, pp.273-274). Cette technique fut critiquée comme étant trop éloignée des situations du monde réel dans lequel les catégories ne peuvent être distinguées par une règle logique qui s'appliquerait à tous les membres d'une catégorie — les éléments sont alors considérés comme équivalents, ou sont positifs ou négatifs, alors que différents types de rouge, par exemple, sont possibles.

L'étude des catégories naturelles

Les travaux se sont ensuite orientés sur les catégories dites *naturelles* (Rosch, 1973), hiérarchisées de la façon suivante : catégories supérieures (*e.g.*, instruments de musique), basiques (*e.g.*, pianos) et subordonnées (*e.g.*, pianos droits). Ces catégories contiennent des membres plus ou moins représentatifs ou typiques ('chaussette' est moins représentatif que 'pantalon' pour la catégorie “vêtement”).
Rosch, Mervis, Gray, Johnsen et Boyes-Braem (1976) ont mis en évidence ces niveaux hiérarchiques sur la base du nombre d'attributs partagés par chaque membre d'une catégorie : les membres d'une catégorie supérieure ont moins d'attributs en commun que ceux appartenant à une catégorie du niveau de base qui en ont encore moins que ceux appartenant à une catégorie subordonnée[31]. Ces auteurs ont également observé qu'au niveau de base, les objets sont plus vite identifiés comme membres d'une catégorie que dans les deux autres cas, sauf dans le cas d'experts d'un domaine qui sont tout aussi rapides pour des catégories subordonnées concernant leur domaine d'expertise. Enfin, le prototype d'une catégorie basique représenterait la *moyenne* des objets appartenant à cette catégorie, et certains éléments seraient plus typiques que d'autres au sein d'une même catégorie.

Ces études ont cependant été réalisées en demandant aux sujets de lister les attributs de chaque élément présenté, ce qui rend impossible la véritable prévision de la typicité d'un élément au sein d'une catégorie : en effet, les attributs changent en fonction des objectifs, et les catégories dont les membres sont sélectionnés pour répondre à un objectif spécifié (comme “les cadeaux d'anniversaire qu'on a plaisir à recevoir”, “les objets emportés lors d'un incendie”, “les aliments à manger lors d'un régime”) échappent au cadre d'une éventuelle typicité fixe (Murphy & Medin, 1985; Barsalou & Medin, 1986). Plus généralement, la partition du monde et la mise en place de nos actions sur ce monde dépendent du contexte dans lequel se déroulent ces actions — les résultats sur les experts sont très éclairants sur ce point (voir Barsalou, 1987; Bastien, 1997; Discenna, 1997).

Les réseaux sémantiques

Un autre type d'expériences consiste à mesurer le temps mis pour répondre correctement à des affirmations telle que : “un oiseau est un animal”. Collins et Quillian (1969), par exemple, présentaient des phrases comme “un canari est un canari”, “un canari est un oiseau” et “un canari est un animal” que les sujets devaient évaluer par une réponse du

[31] Il faut tout de même noter que les valeurs brutes des sujets questionnés ont été reclassées à un niveau hiérarchique plus adapté par des juges lorsque cela leur semblaient plus approprié (cf. Huteau, 1991)...

type vrai/faux. Ils ont pu ainsi mettre en évidence, du fait de l'augmentation du temps de réponse en fonction du nombre de déplacements à effectuer entre niveaux, une organisation conceptuelle sous la forme d'un réseau sémantique (voir Abdi, 1986; Chang, 1986; Massaro, 1989b; Baddeley, 1990; Meunier, 1992; Richard & Richard, 1992; Richard & Kekenbosch, 1995) (*cf.* figure 6) :

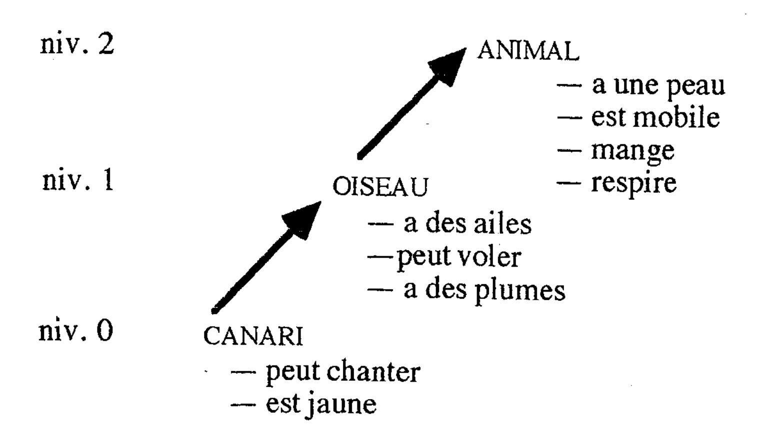


Figure 9. Exemple d'une organisation hiérarchique, d'après Collins et Quillian (1969).

Cette conception de l'organisation conceptuelle est insuffisante pour deux raisons : (1) ce n'est pas toujours vrai ("un chimpanzé est un primate" prend plus de temps que "un chimpanzé est un animal") et (2) l'effet de représentativité d'un élément au sein d'une catégorie n'est pas expliqué ("un canari est un oiseau" prend moins de temps que "une autruche est un oiseau"). Collins et Loftus (1975) proposent alors le même type de réseaux sémantiques, dans lesquels les liens entre objets représentent des degrés de proximité sémantique (figure 10).

Dans ce cas, "canari" aura un lien plus court avec "oiseau" que "autruche", ce qui rend compte de l'effet de typicité. Ce modèle de diffusion de l'activation décrit également le fait que "rouge" va activer fortement "orange" et "feu", et de façon moindre "coucher de soleil" et "roses". Il peut rendre aussi compte des effets d'amorçage : un mot ("beurre") sémantiquement apparié à une amorce ("pain") est plus vite reconnu comme mot que lorsque l'amorce n'est pas sémantiquement appariée ("infirmière").

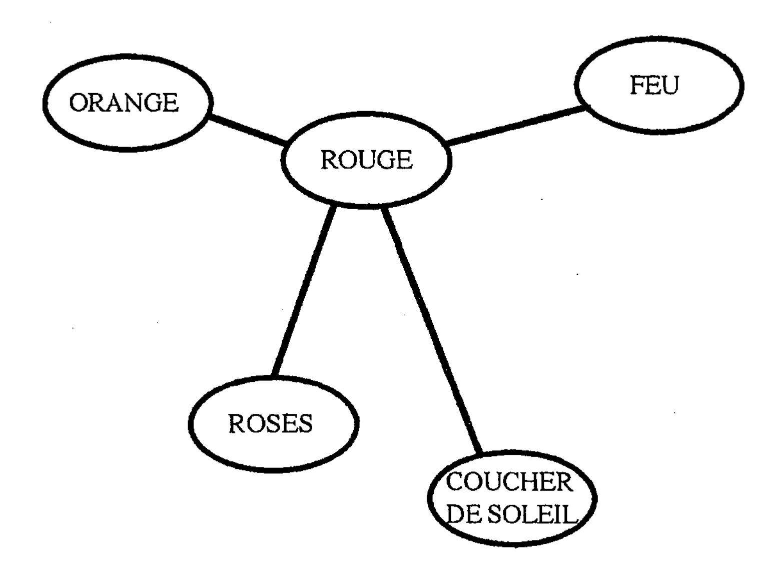


Figure 10. Exemple de proximité sémantique (représentée par la longueur du lien entre deux éléments), d'après Collins et Loftus (1975).

Ces tâches permettant d'étudier une forme de catégorisation sont donc le plus souvent des tâches de décision (cet objet appartient/n'appartient pas à cette catégorie) ou de reconnaissance en nommant l'objet (c'est un oiseau) (voir, par exemple, Corson, 1986). Les résultats sont là. Cependant, non seulement la corrélation attribuée entre vitesse de décision et accès en mémoire, d'où sont en grande partie tirées les hypothèses portant sur l'organisation conceptuelle, a été récemment remise en question (Poldrack & Logan, 1997) mais une critique plus théorique peut également être formulée sur l'ensemble de ce type d'études.

2.1.2. Pour une psychologie fluide

Catégorisation ou classification ?

Il faut s'interroger sur la question posée aux sujets lorsque l'objet d'étude est la façon dont les gens catégorisent : demander aux sujets une liste de propriétés d'objets ou un classement entre objets présentés renseigne sur la capacité qu'ils ont à définir des objets ou à les classer selon une telle définition.

Que feraient-ils dans une situation concrète ? Ce partage des propriétés permet non pas une étude des catégories mais une construction de catégories, supposées universelles et rigides (Landau, 1994; Bastien, 1997). Nous retrouverons cette perspective de recherche dans des phrases comme «l'allure de la queue de l'avion est un indice de probabilité parce qu'il nous indique seulement la catégorie la plus probable d'avions mais non sa catégorie *exacte*» (Reed, 1996, tr. fr. 1999, p.278, nous soulignons).

Une organisation conceptuelle rigide

Malgré la puissance et la souplesse du modèle de diffusion de l'activation[32], les problèmes persistent : en effet, ce modèle est fondé sur l'idée d'une *organisation hiérarchique* (l'oiseau est un animal) *et sémantique* (le beurre va avec le pain) *préalablement définie*.
"Vert" *peut* activer "soleil" puis "cannibale" pour tous ceux qui connaissent le film d'anticipation de Richard Fleischer, inspiré du roman de Harry Harrison, *Soleil Vert*. C'est ce "*peut*"qui est important. Les contextes — *i.e.*, toutes situations traversées de la vie quotidienne — qui influencent notre façon de catégoriser (nos catégories diffèrent de celles du voisin et évoluent) sont remplacés par *une organisation pré-définie que l'on doit retrouver dans la mémoire sémantique*. Qui va rapprocher "vert", "soleil" et "cannibale" dans un réseau ?
Par ailleurs, les enfants *accèdent* difficilement aux prototypes des adultes : à 11 ans, ils ne sélectionnent pas les "meilleurs exemples" d'une catégorie, et à un âge plus élevé, ils classent les éléments en fonction de leur préférence — le perroquet comme meilleur oiseau car ils aiment les regarder, la pomme de terre comme meilleur légume car ils adorent les chips (Aitchison, 1997)...
Enfin, si l'on prend en compte les métaphores nominales du type 'X est un Y' (*e.g.*, mon travail est une prison), X ne peut pas être un membre de la catégorie Y : nous sommes devant le cas d'une "erreur de catégorie" — mais pour qui ? Comme le font remarquer Glucksberg, Manfredi et McGlone (1997, p.328), «si ces assertions catégorielles sont fausses, comment se fait-il que les gens puissent les accepter comme vraies ?».

Une tâche orientée

Il reste qu'après avoir défini *apriori* une catégorie, on attend des sujets qu'ils participent à la démonstration qu'elle existe pour eux, sur le principe de telles expériences de classification. Une fois ces expériences effectuées, des conclusions sont apportées sur l'organisation conceptuelle qui *est* par conséquent hiérarchique.
On présente ainsi aux sujets une liste de mots à rappeler, dans des conditions où la liste est hiérarchisée ou dont les mots sont regroupés par association autour d'un autre, et dans une condition aléatoire. Les performances sont meilleures dans les conditions où une organisation sémantique existe : cela prouve simplement que les sujets utilisent des organisations lorsque la tâche est par ce biais facilitée, mais ne prouve en aucune façon qu'ils organisent ainsi les éléments.

[32] Une perspective semble être plus prometteuse avec la théorie basée sur le modèle LSA (*Latent Semantic Analysis*), en particulier par le rôle attribué au contexte (Landauer & Dumais, 1997; Laham, 1997), bien que la base de données des connaissances soit jusqu'ici construite sur la base de corpus supposés "représentatifs" (nous dirions pré-définis) par le repérage de co-occurrences.

Corinne Mazet (1991; voir aussi Yamauchi & Markman, 1997) fait d'ailleurs remarquer que le type de passation, à savoir l'énumération de catégories, puis l'énumération de sous-catégories, peut faciliter les processus de récupération jusqu'à privilégier une catégorisation de type scientifique sur une catégorisation plus fonctionnelle[33]. Cette dernière est ainsi ignorée, puisqu'elle n'apparaît pas.
De plus, Michel Huteau (1991, p.74) rappelle qu'«il est fréquent de recueillir des informations chez des sujets différents et de les combiner afin d'inférer des propriétés structurales des catégories. C'est ainsi [...] que l'on recueille souvent des estimations de typicalité sur un groupe de sujets, des listes d'attributs sur un autre groupe, et que l'on conclut à l'existence d'un gradient de typicalité si la corrélation entre estimations de typicalité et scores de ressemblance familiale est jugée satisfaisante. En mettant en œuvre une démarche de ce genre on admet implicitement que tous les sujets sont équivalents quant à la structure des catégories».
François Rastier souligne également le problème lié aux différences inter-culturelles qui, bien que souvent évoqué, est éliminé dans ce type de tâche : «on questionne les sujets d'expérience sur des objets comme les meubles, les oiseaux, ou les armes. Mais la plupart des expériences portent en fait sur des mots, et les catégories sont tout simplement délimitées par le lexique de l'expérimentateur qui choisit les termes inducteurs» (1991b, p.270).

En règle générale, toutes les études effectuées sur les effets de contexte (Nosofsky, 1984; Fabre, 1988, 1990) ou les effets d'asymétrie (Codol, 1986; Mareschal & French, 1997; Thomas & Mareschal, 1997) liés au paradigme expérimental utilisé vont dans le sens d'une orientation possible des sujets en fonction du matériel. On pourrait alors retenir, comme le fait Dubois (1991c), que cette organisation taxonomique des catégories est *une des formes possibles* de l'organisation des connaissances en mémoire humaine. Il reste que, bien que la classification puisse être considérée comme une catégorisation parmi d'autres, elle évacue, en tant que résultat d'un processus cognitif, le processus lui-même (Livet, 1996).

[33] De façon similaire, la construction de portraits-robots dans le cadre d'enquêtes policières se fait majoritairement sur une construction séquentielle du visage par la sélection du trait le plus ressemblant pour chaque partie du visage; or, il s'avère qu'une simple description verbale ou une reconnaissance sur une photographie offrent de meilleurs résultats, ce qui va à l'encontre de l'hypothèse — sous-jacente aux tâches de rappel évoquées — que nous encoderions l'information de manière analytique (Demarchi, Reynes & Vazel, 1999).

Les 'erreurs' de catégorie

En fait, le problème apparaît surtout lorsqu'une réponse est qualifiée de 'mauvaise' (ou d''erreur de catégorie') : en effet, les sujets ne doivent finalement prendre en compte que ce qui est proposé dans les listes et déterminer quels éléments vont ou ne vont pas avec quels autres (voir à ce titre les expériences évoquées dans Smith, Patalano & Jonides, 1998, et dans Gentner & Medina, 1998). Dubois (1991c, p.43) indique «qu'il s'agit très massivement de paradigmes "fermés" qui imposent aux sujets l'appartenance catégorielle dans la présentation d'un échantillon de catégories explicitement définies et dans lesquelles ne sont traitées que les réponses "vrai" — comme dans les jugements du type "vérifier l'énoncé 'un canari est un oiseau' - vrai ou faux", ou les tâches de production sous la forme "citez-moi les noms de la "catégorie X (oiseau par exemple)". Les réponses "faux" ne peuvent intervenir dans les calculs, car elles répondent à des processus de décision différents de ceux conduisant aux réponses "vrai"».
Comme le rappelle Livet (1988, p.51), «le sujet d'expérience est habitué à répondre par oui ou par non, mais le sujet "naturel" a-t-il cette attitude ?». En fait, pourquoi l'aurait-il ? Nous savons grâce à des études sur la résolution de problèmes que face à un problème ou à une tâche, *nous répondons à la question posée dans le contexte où elle est posée* (Richard, 1984; Flament, 1986; Bastien, 1997; voir aussi Smith, Jones & Landau, 1996). De la même façon que plus de la moitié d'enfants du CM2 (IREM Grenoble, 1980) ont respectivement répondu "20 ans" et "45 ans" aux énoncés :

> "dans une salle de classe il y a 4 rangées de 5 tables chacune, quel est l'âge de la maîtresse ?";
>
> "dans un troupeau il y a 40 moutons et 5 chiens, quel est l'âge du berger ?",

il est légitime de dire que l'on répond aussi à la question lorsque l'on nous fait classer ou hiérarchiser des éléments susceptibles d'être classés ou hiérarchisés, et pour ce faire, nous utilisons les moyens mis à notre disposition dans le matériel — en particulier le type de réponse attendue (*e.g.*, oui/non). C'est lorsqu'ils ne sont pas suffisants que l'on qualifie la réponse d'*erreur* — étant donné qu'à ce moment précis, nous avons utilisé les éléments d'une façon non prévue ou des éléments non fournis par l'expérimentateur.

Une étude présentée par Charles Tijus (1999) utilise explicitement ces formes de catégorisations spontanées en fonction de la situation (voir aussi Sander, 1997). La figure 11 représente deux exemples de problèmes.
Dans le premier cas (*cf.* figure 11a), la consigne est "prends le noir". L'élément indiqué par la flèche est celui choisi par les sujets, ce qui indique l'importance du pronom dans la

consigne, saillant pour eux bien que rien ne les oblige à prendre l'élément noir qui est différent des autres.

Dans le second cas (*cf.* figure 11b), la consigne est "parmi les noirs, cochez le blanc", ce qui est une consigne quelque peu étrange. Néanmoins, elle ne perturbe pas les sujets qui choisissent spontanément l'élément indiqué par la flèche :

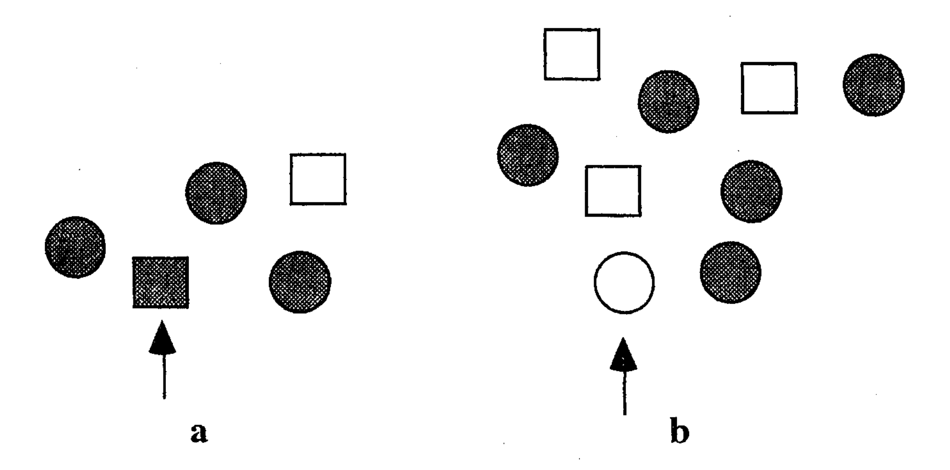


Figure 11. Problèmes mettant en évidence une forme de catégorisation spontanée (Tijus, 1999). La consigne du problème (a) est "prends le noir", celle du problème (b) est "parmi les noirs, cochez le blanc". Les éléments choisis sont indiqués par une flèche.

Encore une fois, si les connaissances se construisent et s'utilisent *en contexte* (Bastien, 1997, 1998; Kokinov, 1997), on peut s'interroger sur l'intérêt *psychologique* d'une recherche d'organisation hiérarchiquement construite autour d'éléments hiérarchiquement catégorisés, étant donné que seules ces hiérarchies sont à la disposition des sujets interrogés. En d'autres termes, quels autres résultats pourrions-nous trouver issus de telles expériences ? La question à laquelle le psychologue souhaite répondre concerne les moyens mis en œuvre par les individus pour catégoriser le monde afin d'interagir avec lui. La question à laquelle ce type d'études répond est celle concernant les catégories que *devraient* acquérir les gens (voir Dubois, 1991b).

Pire : si l'on conçoit que le contenu sémantique d'une catégorie ou d'un membre d'une catégorie est supposé le même pour tous, nous pouvons considérer le langage que nous utilisons pour véhiculer ces contenus comme un langage logico-mathématique où chaque élément est défini, et bien défini; le problème est alors le suivant : «la représentation d'une connaissance dans un langage logico-mathématique est le résultat d'une activité de pensée *dont le sujet s'est retiré*. Le bâtiment est là mais l'architecte et les ouvriers sont partis» (Grize, 1993, p.198, nous soulignons). De plus, le caractère lacunaire des connaissances, ainsi que les différents points de vue que l'on peut avoir sur les objets (variant avec l'expertise) ne sont pas considérés (Dubois, 1991c; Vignaux, 1991). On aboutit ainsi à

des paradoxes comme celui évoqué dans cette phrase écrite par Stefen Reed (1996, tr. fr. 1999, pp.318-319) : «ce livre, par exemple, a été écrit selon un plan hiérarchique. L'ouvrage est divisé en trois partie principales [...]. Chaque partie contient quatre ou cinq chapitres, chacun comprenant trois ou quatre sections, chacune divisée en deux à quatre sous-sections. *Je ne suis pas sûr que ce type d'organisation soit un avantage pour les lecteurs, mais c'est une organisation hiérarchique cohérente par rapport aux découvertes effectuées sur l'organisation hiérarchique et la taille des catégories*» (nous soulignons). Ce type de paradoxe — dans lequel nous pouvons rendre compte d'une organisation conceptuelle qui n'est pas celle des sujets — se trouve également dans les études portant sur le raisonnement par analogie.

2.2. LE RAISONNEMENT PAR ANALOGIE

> Je mets beaucoup d'ordre dans mes idées. Ça ne va pas tout seul. Il y a des idées qui ne supportent pas l'ordre et qui préfèrent crever. A la fin, j'ai beaucoup d'ordre et presque plus d'idées.
>
> Norge, 1969, p.75

Selon Fodor, le raisonnement par analogie est un mystère qui le restera (voir Vivicorsi, à paraître). Appartenant à ce qu'il appelle le système central, cette capacité est hors de portée de toute investigation scientifique digne de ce nom, ceci si l'on accepte *la première loi de Fodor sur l'inexistence des sciences cognitives* : «selon cette loi, plus un processus cognitif est global (c'est-à-dire isotrope) moins on sait de choses à son sujet. Sur les processus *très* globaux, comme le raisonnement par analogie, on ne sait rien du tout» (Fodor, 1983, tr. fr. 1986, p.140). Le raisonnement par analogie est en effet «la plus pure expression de l'isotropie : il met en jeu un transfert d'informations entre des domaines qui étaient sans rapport jusqu'à ce moment» (*Ibid.*, p.139).
Défendant le cognitivisme — ou paradigme symbolique, classique — comme stratégie de recherche, Fodor entend prévenir les chercheurs d'un gaspillage d'énergie inutile : de certains processus, on ne saura jamais rien. Par conséquent, le raisonnement par analogie est et peut rester un mystère. Il vaut alors mieux se consacrer à ce qui peut être rigoureusement étudié, c'est-à-dire ce qui autorise une approche locale scientifiquement adaptée, comme les systèmes cloisonnés (ou modules).

Pourtant, ce processus est largement utilisé dans de nombreuses activités cognitives, et l'est de manière particulièrement privilégiée (Bastien, 1997; Vosniadou, 1989). D'une part, un lien étroit existe entre l'organisation fonctionnelle des connaissances et le traitement analogique. D'autre part, même si une validation logique est alors hors de portée, comparer une situation nouvelle à une situation plus ancienne pour se confronter à la première permet une économie et une souplesse inférentielles difficilement sollicitées dans les raisonnements de type logique : «si face à une situation-problème on ne dispose pas d'une solution connue, une façon économique de procéder consiste à chercher s'il n'existe pas des connaissances antérieurement acquises qui, moyennant quelques aménagements, pourraient être applicables pour aboutir au but. Si quelqu'un est, par exemple, confronté à la fuite d'un radiateur dans son appartement, il est plus économique pour lui de tenter de la réparer en utilisant une procédure voisine de celle qui lui a permis

de réparer une fuite du robinet sur l'évier, que de se plonger dans une documentation relative à son installation...» (Bastien, 1997, p.141).

Ce caractère fondamental du raisonnement par analogie n'est pas passé inaperçu dans les recherches de psychologie cognitive, malgré la mise en garde fodorienne. Cependant, cette dernière, évacuée par la porte, s'introduit par la fenêtre... En effet, la communauté scientifique concernée étudie ce processus; mais lorsqu'on s'intéresse à l'évaluation des modèles susceptibles d'en rendre compte, nous pouvons relever certaines simplifications qui ne sont pas sans rappeler celles évoquées à propos de l'organisation conceptuelle, et leurs conséquences en retour sur le processus lui-même.

2.2.1. Une (simple) mise en correspondance ?

Le rôle du raisonnement par analogie est classiquement celui d'un établissement de correspondances entre éléments (Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986; *cf.* **1.2.2.**). Cette opération s'effectue lorsque, pour résoudre un nouveau problème (*cible*), nous appliquons une procédure de résolution qui fut appliquée avec succès à un problème antérieur (*source*). Il faut alors être capable d'évoquer un problème source pertinent pour la résolution du problème cible et appliquer de façon adaptée la même procédure au nouveau problème (figure 12) :

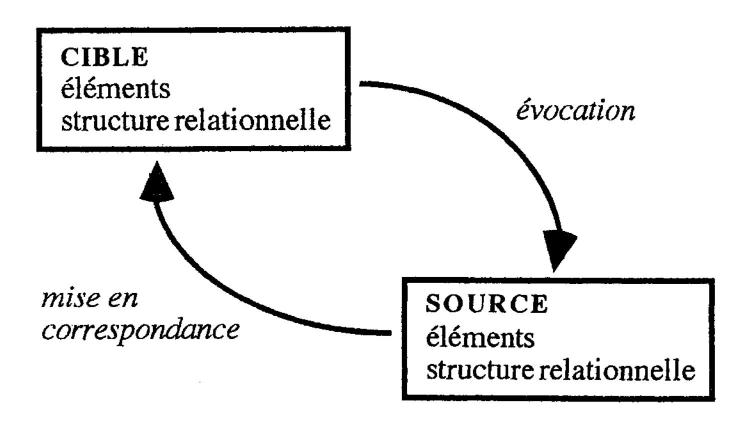


Figure 12. Raisonner par analogie est classiquement représenté par l'évocation, à la suite de la présentation d'un problème cible, d'un problème source dont il faut apparier les éléments, insérés au sein d'une structure relationnelle, à ceux du problème cible à résoudre.

Ce transfert analogique — parmi d'autres (*cf.* Thagard, 1997) — est celui considéré comme étant le plus commun, et de ce fait représente la base de réflexion de la majorité des études sur le raisonnement par analogie.

Des sélections successives

L'efficacité du raisonnement par analogie dépend de deux sélections successives : la première sélection est celle qui va opérer sur le choix du problème source pertinent, sélection guidée par certains éléments du problème cible et par l'expertise; la seconde sélection consiste à choisir, parmi toutes les correspondances possibles pouvant être mises en œuvre entre les éléments des deux problèmes, celles qui sont pertinentes pour aboutir à une solution adaptée au problème cible. La difficulté réside alors justement dans l'évaluation de cette pertinence, forcément contextuelle (Ripoll, 1993). Ainsi, le raisonnement par analogie est fortement lié (1) à l'organisation des connaissances en mémoire concernant la phase d'évocation de la source et (2) au but poursuivi (au contexte de résolution en général) concernant la phase d'appariement (*mapping*).
Cependant, le problème de l'activation des connaissances en mémoire à long terme a été majoritairement étudié *à partir* de l'étude de la phase d'appariement, et cette dernière doit répondre au problème de l'explosion combinatoire — *i.e.*, sélectionner, parmi tous les appariements possibles, ceux susceptibles d'être efficaces pour une résolution. Par conséquent, la majorité des études se sont focalisées sur la mise en correspondances d'éléments entre deux situations présentées l'une après l'autre, la première jouant le rôle de source, la seconde de cible. De ces études ont été mis en évidence les facteurs permettant de réduire le choix des éléments à apparier, facteurs pouvant être structuraux (concernant les relations entre éléments des situations), sémantiques (concernant les ressemblances thématiques des situations) ou pragmatiques (concernant la signification des éléments en fonction du contexte de la situation nouvelle). Des modèles ont alors été élaborés, susceptibles d'apporter une explication de l'appariement effectué par le sujet en fonction de ces différents facteurs.

Des contraintes structurales

Une théorie exclusivement structurale de l'appariement est proposée par Dedre Gentner (voir, par exemple, Gentner, 1989) : la *Structure Mapping Theory*. L'idée centrale de cette théorie est le fait qu'une mise en correspondance d'une source et d'une cible repose sur une mise en correspondance des systèmes de relations unissant chacun des objets au sein de la source et au sein de la cible — Gentner parle depuis d'*alignement de structures* (Gentner & Markman, 1993, 1997a; Markman & Gentner, 1993a, 1996). Chacun des éléments de la source va donc être apparié à chacun des éléments de la cible par le biais des relations existantes entre les éléments. En d'autres termes, le *mapping* ne concerne que la structure relationnelle de la source et de la cible, quels que soient les objets supportant cette structure. De plus, cette mise en correspondance des systèmes de

relations obéit à un principe de systématicité : «les gens préfèrent mettre en correspondance des systèmes connectés de relations d'ordre élevé permettant des inférences plutôt que des prédicats isolés» (Gentner, 1989, p.201). Le raisonnement par analogie résulte donc d'une mise en correspondance d'éléments entre la source et la cible, en conservant les systèmes de relations existant dans chaque situation et en privilégiant les systèmes de relations d'ordre le plus élevé, le but étant d'obtenir l'appariement structural optimal.

Le modèle symbolique *Structure Mapping Engine* (SME) élaboré à partir de cette théorie décrit ce processus : les éléments des deux situations sont d'abord appariés entre eux sur la base d'une similitude sémantique; des éléments peuvent alors être appariés à plusieurs autres, mais le modèle ne sélectionne qu'un appariement en favorisant les éléments qui participent à une structure d'ordre supérieur; si le niveau structurel est le même pour deux appariements, l'un des deux est éliminé au hasard; le principe de systématicité réduit ensuite les candidats en retenant une mise en correspondance qui sauvegarde la structure optimale. Ainsi, le problème de l'explosion combinatoire est évité : parmi tous les appariements possibles entre les éléments de deux situations, ne sont gardés que ceux qui conservent une structure relationnelle maximale. Concernant la phase d'évocation, Gentner, Rattermann et Forbus (1993; voir aussi Law, Forbus & Gentner, 1994) ont proposé le modèle *Many Are Called but Few Are Chosen* (MAC/FAC), la partie MAC réalisant des appariements entre éléments implantés dans une mémoire en réseau, la partie FAC utilisant un programme SME pour réaliser l'appariement final.

Des données expérimentales montrent la pertinence du principe de systématicité (Goldstone & Medin, 1994; Gentner & Markman, 1997b; Markman, 1997; Loewenstein & Gentner, 1998). Le problème est pourtant quelque peu similaire à celui soulevé lors des expériences sur la catégorisation.

Etant donné un certain type de matériel, en l'occurrence des textes généralement construits sur la base d'une structure causale, les sujets vont utiliser ce qu'on leur permet d'utiliser. Mais aboutir au même résultat que celui prédit par le modèle ne signifie pas aboutir *par le même processus* : (1) dans le modèle, les situations sont codées arbitrairement de façon à faire apparaître la hiérarchie relationnelle; (2) aucune contrainte sémantique ou pragmatique n'est prise en compte dans la phase de mise en correspondance; (3) tous les appariements entre éléments pouvant être appariés sont effectués, et des éliminations sont alors effectuées en faveur d'une structure relationnelle entre éléments la plus élevée possible.

Le point (1) est entre autres critiqué par Stephen Palmer (1989) : le codage utilisé pour faire émerger une hiérarchie de relations est arbitraire dans la mesure où il est toujours possible de coder les informations au même niveau; en d'autres termes, la hiérarchie est

construite, et "redécouverte" après, comme dans le cas de la hiérarchie des catégories. La modélisation concerne donc encore une fois ce que *devrait* faire le sujet pour aboutir au meilleur résultat.

Le point (2) n'est pas surprenant ici : en effet, le modèle est un *moteur* (*engine*) qui se "mettrait en route" *après* la représentation des situations en mémoire — les connaissances n'interviennent donc plus tant que sa tâche n'est pas terminée. Ce qui peut être critiqué, c'est la réduction du raisonnement par analogie à un module (Fodor, 1983) — le module "*analogy engine*" — dont le rôle est d'effectuer une simple mise en correspondance (Keane, 1993; Eskridge, 1994; Petrov & Kokinov, 1998; Sander, 1997; *cf.* **2.2.2.**).

Le point (3) en revanche est psychologiquement critiquable car il "résoud" le problème de l'explosion combinatoire en éliminant le problème avant sa résolution. Si la phase d'appariement est un processus indépendant des connaissances en mémoire, l'explosion combinatoire n'apparaît pas : il suffit, entre deux situations isolés, de tester des mises en correspondance et de conserver celle qui reste pertinente pour la résolution du nouveau problème. Mais même dans ce cas, effectue-t-on toutes les correspondances possibles ? Oui, si nous ne sommes guidés que par des contraintes structurales... Comme le souligne Thierry Ripoll (1993, p.38), «dès lors que les situations analogues deviennent complexes, il est probable que les contraintes sémantiques et pragmatiques soient absolument indispensables pour un traitement économique de l'analogie» au moins pour désambiguiser certaines informations et repérer ce qui semble pertinent (voir notamment DuRussel et Derry, 1998, sur des résolutions de problème par analogie par un groupe de travail). Ainsi, considérer les seules contraintes structurales peut, non seulement ne pas résoudre le problème de l'explosion combinatoire, mais complexifier les traitements mis en œuvre au sein du raisonnement par analogie — traitements soulagés si l'on considère des contraintes pragmatiques pour limiter les appariements possibles (Antoni, 1997; Burns, 1998; d'autres travaux insistent sur les capacités précoces des enfants à raisonner par analogie qui ne peuvent pas s'expliquer si l'on ne considère que les appariements structuraux — voir Goswami, 1991).

Des contraintes pragmatiques

Keith Holyoak (voir, par exemple, Holyoak &Thagard, 1989) s'est justement intéressé à la nature d'une représentation des connaissances en mémoire qui permettrait un raisonnement par analogie. Sa conclusion est qu'il doit exister des représentations abstraites, sous la forme de schémas, pour rendre possible l'évocation d'un problème analogue. Ces schémas représentent la correspondance causale maximale entre des situations analogues — *i.e.*, ce sont des abstractions mettant en scène l'état initial, les buts, les contraintes et le plan de solution d'une situation, qui sont alors instanciées en

fonction de la situation réelle qui se prête à ce schéma. Ainsi, les connaissances doivent être représentées à un niveau d'abstraction suffisant pour permettre un raisonnement par analogie (Cauzinille-Marmèche *et al.*, 1985).
L'ensemble des connaissances n'est alors pas négligé dans le processus de mise en correspondance, ces dernières étant sélectionnées par le biais de contraintes pragmatiques : les éléments causalement pertinents pour atteindre le but poursuivi sont privilégiés dans la mise en correspondances (Bonnardel & Rech, 1998), et différents buts entraînent différents appariements (Seifert, 1994).
Contrairement à Gentner, pour qui les éléments pertinents sont ceux placés à un niveau élévé de relations causales, Holyoak met en avant, dans la sélection des éléments à apparier, le rôle du contexte sous la forme du but à atteindre (voir Ripoll, 1993). L'avantage ici, c'est qu'une structure relationnelle abstraite permettant une mise en correspondance est accessible — le schéma.

Les modèles d'inspiration connexionniste développés à partir de ces points théoriques, *Analogical Constraint Mapping Engine* (ACME) pour la phase de mise en correspondance (Holyoak & Thagard, 1989), et *Analogical Retrieval by Constraint Satisfaction* (ARCS) pour la phase d'évocation (Thagard, Holyoak, Nelson & Gochfeld, 1990), illustrent de façon plus complète le raisonnement par analogie.
ACME décrit ainsi une mise en correspondances influencée par une contrainte structurale d'*isomorphisme*, qui encourage l'appariement conservant une cohérence relationnelle maximale, une contrainte sémantique *de similitude* qui privilégie un appariement entre prédicats partageant un contenu sémantique proche, et une contrainte pragmatique *de centralité* qui favorise les appariements d'éléments susceptibles d'être pertinents pour atteindre le but pour lequel le raisonnement par analogie est utilisé. Ce modèle, à partir d'un encodage des situations sous la forme prédicative, rend compte, par l'opération parallèle des contraintes évoquées, de la mise en correspondances des éléments pertinents pour l'obtention de l'issue recherchée.
Pour le modèle ARCS, modèle hybride[34], l'idée est la même : plusieurs problèmes sources sont codés, le problème cible aussi, sous la forme de traits élémentaires. Lorsqu'un trait du problème cible est similaire ou identique à un trait d'un ou de plusieurs problèmes sources, le niveau d'activation du ou des problèmes contenant ce trait augmente. Par un mécanisme de sommation d'activation, un des problèmes dépassera un certain seuil qui fera de lui le problème source retenu. Ce dernier servira alors d'entrée au modèle ACME.

[34] Ce modèle est au départ symbolique pour la mise en place du réseau, puis connexionniste pour la recherche du problème source pertinent.

Malgré des résultats expérimentaux cohérents (voir, par exemple, Spellman & Holyoak, 1996) et une amélioration théorique — par le biais d'une multiplicité de contraintes et de la considération de la phase d'évocation —, ces modèles ne sont pas si différents de celui de Gentner (voir, par exemple, Ripoll, 1993).

Le problème relatif au point (1) (l'encodage des situations) reste entier : les éléments sont implantés dans les modèles dans un codage arbitraire basé sur les relations d'ordre entre prédicats.

Le problème du point (2), relatif aux contraintes sémantique et pragmatique, réaparaît sous une forme différente : la similitude sémantique est nécessaire pour déclencher l'activation de ARCS dans sa recherche d'une source, mais cette recherche est conditionnée par la contrainte d'isomorphie, c'est-à-dire structurale; les contraintes pragmatiques, quant à elles, ne sont pas indispensables à l'aboutissement de la recherche.

Enfin, le point (3), concernant la totalité au départ des mises en correspondance, apparaît aussi sous une autre manière : au lieu d'apparier tous les éléments puis de vérifier un niveau relationnel suffisant, comme dans SME, ce qui laissait la possibilité *théorique* d'une création de connaissances — théorique seulement, car la créativité suppose une part de non déterminisme qui échappe à ce type de modélisation (Johnson-Laird, 1989a; voir aussi Dejong, 1989) —, des appariements sont d'abord effectués en fonction d'un niveau de relation repéré au sein du codage, puis des sélections sont effectuées par les contraintes sémantique et pragmatique.

Une organisation des connaissances structurée

En fin de compte, «les deux auteurs, malgré leur opposition initiale, semblent privilégier une conception structurale de l'analogie» (Ripoll, 1993, p.69), ce qui implique de la part des sujets qui raisonnent par analogie d'avoir acquis un minimum de connaissances *organisées de façon structurées* sur un domaine (Gineste, 1997; Sander, 1997).

De plus, le fait qu'au départ ait lieu une mise en correspondance exhaustive entre les éléments des situations n'est pas réaliste : Mark Keane (1997) montre en effet qu'il n'est pas nécessaire de prendre en compte la totalité des informations présentées dans les problèmes — les sujets sont par exemple sensibles à l'ordre de présentation des informations qui influence la rapidité avec laquelle la mise en correspondance adéquate est réalisée — et défend une conception incrémentale du processus analogique.

Dans le modèle *Incremental Analogy Machine* (IAM) (Keane, Ledgeway & Duff, 1994), une partie de la source est considérée comme point de départ de la mise en correspondance, cette partie étant sélectionnée par son degré structurel élevé mais aussi par l'importance attribué aux éléments dans l'atteinte du but. Ensuite, l'élément de cette partie le plus élevé relationnellement est apparié à un élément de la cible, qui partage à la

fois une similitude sémantique et un niveau relationnel élevé. Le processus se répète alors pour les éléments d'ordre inférieur dans les deux situations. Si la moitié au moins des éléments n'est pas appariée, le système sélectionne alors un autre appariement originel.

De même, Hummel et Holyoak (1997; Holyoak & Hummel, 1998) proposent un modèle général du raisonnement par analogie qui prend en compte d'une part, les limites du système cognitif dans l'établissement des appariements, d'autre part l'opération complète allant de l'évocation d'un problème source à la schématisation pouvant être obtenue à la suite de la mise en correspondance (on retrouve ce besoin chez Gentner qui cherche à introduire SME dans des projets de modélisation du raisonnement en général — voir Forbus, Gentner, Everett & Wu, 1997). Dans *Learning and Inference with Schemas and Analogies* (LISA), chaque problème est codé en unités structurales et des unités sémantiques servent d'interface entre les propriétés structurales des deux problèmes analogues. Les unités structurales de la cible sont ainsi mises en correspondance avec les unités structurales de la source, *via* les unités sémantiques pouvant être partagées par les éléments des deux problèmes. Les prédicats de même niveau ont tendance à être inhibés par des connexions latérales, le choix se faisant alors sur les sous-propositions (primitives sémantiques composant les concepts) selon leur degré d'activation lié à la proximité sémantique entre éléments. Des poids accordés à certains éléments similaires ou fonctionnellement équivalents font alors tendre le système vers une solution qui prend en compte par ce biais le contexte pragmatique. Ainsi, les appariements sont construits au fur et à mesure des activations, contrairement aux modèles précédemment évoqués (Ripoll & Coulon, soumis).

Il reste que le problème, soulevé en particulier par Ripoll (1992, 1998a; Sander, 1997), de l'encodage des représentations qui influence la recherche du problème source en mémoire a été largement négligé au profit d'un raisonnement par analogie réduit à sa phase d'appariement.
En fait, les études sur le raisonnement par analogie montrent souvent comment pourrait se comporter un sujet qui utilise cette capacité *une fois que les deux problèmes sont comparables*, mais ne nous renseignent que peu sur la façon dont l'individu, lorsque la source ne lui est pas donnée, évoque une situation analogue parmi toutes celles qu'il a pu "stocker" en mémoire.
Dans l'hypothèse plus psychologique du schéma, Keane (1987) fait remarquer, préférant utiliser les travaux de Roger Schank (1982; voir Ripoll, 1993, Didierjean, 1997) sur la mémoire, que l'on peut très bien évoquer *une* des sources potentielles et pas les autres malgré le fait que ces dernières puissent être sous la coupe d'un même schéma (voir aussi Sander, 1997; Zhang, Johnson & Wang, 1998).

De plus, la facilité d'adaptation d'une structure sur une autre peut orienter l'appariement qui n'est alors pas contraint exclusivement par une analogie de structure (Keane, 1996; Sander & Richard, 1998).

Enfin, l'on peut s'interroger quant au rôle de l'encodage de la source sur l'encodage de la cible (Bastien, Bastien-Toniazzo & Cayol, 1996; Bastien-Toniazzo, Blaye & Cayol, 1998; Coulon (1998), qui parle d'*encodage analogique*) : non seulement l'encodage de la source influence la perception que l'on a de la cible, mais l'encodage de la cible joue un rôle dans la sélection d'un problème analogue source (Cayol, 1996, 1999). Ainsi, les informations qui vont être appariées n'ont aucune raison de l'être de façon *unique*.

En d'autres termes, les possibilités d'orientation sémantique des informations sont réduites à une direction privilégiée choisie par les concepteurs des modèles[35] — mais aussi par les expérimentateurs lorsqu'ils réduisent la possibilité d'intervention des glissements conceptuels dans la recherche d'une solution.

2.2.2. Pour une modélisation fluide

La codification conceptuelle, que l'on attribue plus ou moins au sujet, convient tout à fait aux modèles... En effet, le codage des situations analogues correspond toujours à la traduction la plus économique possible d'un texte en langage naturel exprimé par un formalisme proche de la logique des propositions (Ripoll & Coulon, soumis). On peut ainsi, comme le fait Marie-Dominique Gineste (1997), comparer ces propositions formées de prédicats et d'arguments à un emboîtement de poupées russes dans lequel chaque unité peut être décomposée en unités plus simples.

Le problème est alors le suivant : dans le cas de SME (en particulier), le codage des problèmes est effectué avant que le moteur de projection de structures ne démarre, et ce codage contient *déjà* pour le problème cible une structure définitive, qu'il faut projeter sur un problème source adéquat. Mais adéquat pour quoi faire ? Comme le fait remarquer Gineste (1997, p.56), «si cette représentation initiale est suffisante, il n'est plus nécessaire de retrouver une connaissance analogue»... Pourtant, il semble que l'on puisse utiliser des formalismes de logique plus souples et plus sensibles au contexte, comme ceux issus de logiques non monotones ou floues (Besnard, 1989; Zadeh, 1995) : prenant l'exemple du juridique, Livet (1998, 1999) montre que les tautologies les plus fortes logiquement sont abandonnées au profit de tautologies logiquement plus risquées en général mais moins risquées dans le contexte considéré.

---

[35] Un exemple nous est aussi donné par les problèmes liés à la traduction automatique (Pitrat, 1982; Gross, 1997): bien que les connaissances en informatique et en linguistique aient considérablement évoluées, elles sont encore insuffisantes pour comprendre comment modéliser la traduction d'un texte, qui peut être considérée comme l'exemple par excellence de création d'analogies (voir Hofstadter, 1997).

Le codage des représentations : l'effet ELIZA

En termes quelques peu différents, la contrainte structurale est primordiale pour l'appariement final, et cette structure doit inévitablement apparaître dans la traduction des problèmes. Malheureusement, *seule* la structure apparaît, et nous avons ainsi une "justification" pour le moins problématique du fonctionnement des modèles, basée sur l'apparence *trompeuse* d'une signification conceptuelle valorisant *a posteriori* un raisonnement *par* analogie. Hofstadter (1995a; voir aussi Longuet-Higgins, 1971) critique ainsi le simple fait de parler d'analogies dans le cadre de ce type de modélisation, précisant que les termes utilisés ne sont que des symboles interchangeables, et que le programme ne fait que construire une mise en correspondance entre des données vides de signification.

"L'effet ELIZA" sous-jacent — du nom d'un programme jouant le rôle d'un psychanalyste répondant par interface informatique à des question et élaboré par Joseph Weizenbaum (1966, 1995) — indique que l'on attribue une signification à des objets sans signification manipulés par la machine : il ne faut alors pas se laisser abuser, dans les justifications comportementales émanant du modèle, par cet effet qui ne participe pas au fonctionnement du modèle lui-même. Pour montrer plus clairement le danger qu'il y a à tomber sous l'effet ELIZA, Hofstadter (1995a) prend l'exemple de deux problèmes — concernant l'analogie entre le philosophe (Socrate) et la sage-femme[36] — codés sous la notation de la logique des prédicats par Holyoak et Thagard (1989) :

SAGE-FEMME (source)	SOCRATE (cible)
f1 : (sage-femme (obj_sage-femme))	s1 : (philosophe (Socrate))
f2 : (mère (obj_mère))	s2 : (étudiant (obj_étudiant))
f3 : (père (obj_père))	s3 : (partenaire-intellectuel (obj_partenaire))
f4 : (enfant (obj_enfant))	s4 : (idée (obj_idée))
f5 : (marie (obj_sage-femme obj_mère obj_père))	s5 : (introduit (Socrate obj_étudiant obj_partenaire))
f6 : (conçoit (obj_mère obj_enfant))	s6 : (formule (obj_étudiant obj_idée))
f7 : (cause (f5 f6))	s7 : (cause (s5 s6))
f8 : (faire accoucher (obj_mère obj_enfant))	s8 : (faire penser à (obj_étudiant obj_idée))
	s9 : (teste la validité (obj_étudiant obj_idée))
f10 : (aide (obj_sage-femme obj_mère))	s10 : (aide (Socrate obj_étudiant))
f11 : (donne naissance (obj_mère obj_enfant))	s11 : (donne la validité (obj_étudiant obj_idée))
f12 : (cause (f10 f11))	s12 : (cause (s10 s11))

[36] C'est-à-dire l'art de faire accoucher, ou maïeutique : «méthode par laquelle Socrate, fils d'une sage femme, cherchait, comme sa mère accouchait les corps, à "accoucher" les esprits pour faire découvrir à ses interlocuteurs la vérité qu'ils portent en eux sans le savoir» (Morfaux, 1980, p.202).

Hofstadter remplace alors un terme par une lettre, et choisit pour différencier la sage-femme (f) du philosophe (s) des lettres majuscules pour la première, minuscules pour le second :

SAGE-FEMME (source)	SOCRATE (cible)
f1 : (A (B))	s1 : (a (b))
f2 : (C (D))	s2 : (c (d))
f3 : (E (F))	s3 : (e (f))
f4 : (G (H))	s4 : (g (h))
f5 : (I (B D F))	s5 : (i (b d f))
f6 : (J (D H))	s6 : (j (d h))
f7 : (K (L M))	s7 : (k (l m))
f8 : (N (D H))	s8 : (n (d h))
	s9 : (o (d h))
f10 : (P (B D))	s10 : (p (b d))
f11 : (Q (D H))	s11 : (q (d h))
f12 : (K (R S))	s12 : (k (r s))

Il met ainsi en garde le fait de confondre une "compréhension" du modèle vis-à-vis de la métaphore "le philosophe est une sage-femme" avec un simple appariement lettre-lettre. Evidemment, dans ce cas, on aura A-a, B-b, etc., et pour faire apparaître d'autres "analogies", il suffit de changer en retour ce que représente les lettres pour nous (Hofstadter, 1995a, p.165, ma "traduction") :

Mr LIMASSE (source)

l1 : (mari-négligent (Limasse))

l2 : (femme-seule-sexuellement-affamée (Jeâne-Byche))

l3 : (macho-tueur-de-femme (Loupin))

l4 : (pauvre-petit-foetus-innocent (Bambi'n))

l5 : (emmène-au-bar (Limasse Jeâne-Byche Loupin))

l6 : (conçoit-pour-x-raisons (Jeâne-Byche Bambi'n))

l7 : (cause (l5 l6))

l8 : (donne-naissance-contre-son-gré (Jeâne-Byche Bambi'n))

l9 : (enveloppe-dans-un-sac et jette-au-dessus-du-pont (Jeâne-Byche Bambi'n))

l10 : (aide (Limasse Jeâne-Byche))

l11 : (résoud-habilement-le-problème (Jeâne-Byche Bambi'n))

l12 : (cause (l10 l11))

Ici, Limasse emmène sa femme et son ami Loupin au bar, où les choses prennent leur cours naturel, rendant Jeâne-Byche enceinte de Loupin. Ne voulant pas du bébé, elle le jette avec l'aide de son mari dans la rivière...
Cette remarque pour le moins embarrassante d'Hofstadter met également en évidence un certain malaise dès que l'on parle de domaine (comme la politique) et d'analogies inter- ou intra-domaines traitées par le modèle : «si les mots sont aussi vides que des lettres, comment une analogie peut-elle être "à propos" de quelque chose ?» (1995a, p.166).

Une organisation conceptuelle pré-définie

Au même titre que les études sur la catégorisation, qui aboutissent à une organisation conceptuelle hyper-structurée, les études sur le raisonnement par analogie utilisent une organisation conceptuelle *pré-construite* qui devient la base du raisonnement. Comme le dit Ripoll (1992, p.284; voir aussi Wharton, Holyoak & Lange, 1996), «le problème lié au fonctionnement global du système central [...] est résolu en évitant que les connaissances en mémoire puissent interagir avec le "mécanisme" de l'analogie».

En fait, c'est plutôt dans le domaine du raisonnement par cas que l'on trouve des modèles d'intelligence artificielle tenant compte d'une organisation des connaissances en mémoire. Mais les réseaux sont alors construits autour de domaines d'expertise restreints (ce qui privilégie des analogies intra-domaines) dont les règles utilisées dépendent — elles sont donc peu généralisables (Ripoll, 1992; Cauzinille-Marmèche & Mathieu, 1994; Cauzinille-Marmèche & Didierjean, 1999; voir aussi Tiberghien, 1986).
Rogers Hall (1989), en examinant 16 modèles sur les mécanismes de l'analogie[37], parlait déjà d'"adolescence" de cette modélisation, en particulier à cause du problème de l'interaction entre ces mécanismes et l'organisation des connaissances en mémoire. A ce titre, les travaux concernant la charge mentale — ou «quantité de ressources mentales mobilisée par un sujet lors de la réalisation d'une tâche» (Tricot & Chanquoy, 1996, p.314; voir aussi Barouillet, 1996; Tricot, 1998) — indiquent qu'une baisse de la charge mentale peut avoir un effet négatif sur l'apprentissage (Pierce, Duncan, Gholsn, Ray & Kambi, 1993), et que la redondance d'informations, bien qu'alourdissant cette charge, peut au contraire avoir un effet positif dans l'atteinte d'un but (Valot & Amalberti, 1989). Ces résultats ne simplifient pas l'élaboration d'une modélisation efficace.

[37] Le modèle COPYCAT que nous verrons en détail en **3.3.**, ainsi que les modèles issus de l'approche des *Traitements Parallèles Distribués* (PDP) ne figurent pas dans les modèles évalués, qui offrent, selon l'auteur, «une nouvelle approche de l'analogie» (Hall, 1989, p.40).

Enfin, les mécanismes d'évocation, comme ceux liés aux inférences en général, peuvent également être influencés par le langage et ses ambiguités (Lange & Wharton, 1994) ou ses sens communs (Richard, 1998).

Ainsi, *il ne reste plus alors qu'à mettre en relation les éléments proposés*, comme il ne restait plus qu'à mettre ensemble les éléments proposés dans le cadre des études sur la catégorisation. Le piège consiste à croire que dès lors qu'une question du type "en quoi X et Y sont similaires" est posée (voir, par exemple, Medin, Goldstone & Gentner, 1993), la réponse nous renseigne sur ce qui produit le fait que l'on perçoit deux entités comme analogues, *même dans des conditions où l'on ne nous pose aucune question*. Comme le dit Rastier (1991b, p.273), «on ne trouve guère de situation où l'on ait à choisir entre le moineau et l'autruche, le violon et la crécelle, le couteau et le missile». Dès lors, comme pour le sujet épistémique piagétien, la tentation est grande (nous dirons franchie) de prendre le sujet "idéal" ou "moyen" pour le sujet "tout court" — *i.e.*, «l'ombre pour la proie» (Ripoll, 1993, p.255) ou le doigt à la place de la lune qu'il désigne...

2.3. CONCLUSION : RENDRE POSSIBLE LA FLUIDITÉ CONCEPTUELLE

> Les poëtes ont créé une lune métaphorique et les savants une lune algébrique. La lune réelle est entre les deux.
>
> Victor Hugo, 1864, 1993, pp.12-13

Dans les deux domaines d'études examinés, — *i.e.* la catégorisation et le raisonnement par analogie — non seulement les références sémantiques sont pré-définies et stables du point de vue des expériences, mais elles sont vides du point de vue des modèles.

D'un côté, on suppose une fixation et une organisation hiérarchique des connaissances qui n'autorisent aucun glissement conceptuel et qui doit se retrouver chez les sujets. Pourtant, il paraît admis que «les représentations invariantes de catégories n'existent pas dans les systèmes cognitifs humains. Les représentations invariantes de catégories sont plutôt des fictions analytiques créées par ceux qui les étudient» (Barsalou, 1987, p.114). Plus précisément, l'utilisation d'un matériel aisément structurable n'entraîne pas de glissements conceptuels *autres* que ceux qui sont explicables par une identification ou une projection de structure. Ainsi, la fluidité conceptuelle dont nous avons parlé n'a aucune raison d'apparaître.
De l'autre côté, l'ensemble des données recodées pour les modèles correspond en substance à la structuration pré-établie qu'il suffit de projeter sur une source parmi d'autres. Gentner a directement considéré que seule la structure jouait un rôle dans cette projection. Les autres auteurs, malgré une conception plus réaliste, finissent par se retrouver piégés par la formalisation propre de leurs modèles, qui ne prend en compte que la structure en question.

La boucle est bouclée. Nous voudrions indiquer les moyens que l'on doit mettre en œuvre pour respecter une éventuelle intervention de la fluidité conceptuelle et pour élaborer des modèles devant exhiber un fonctionnement adaptatif et non restreint au codage des entrées.

2.3.1. Les études : macro-sujets et micro-mondes

La fluidité conceptuelle apparaît lorsqu'elle est nécessaire. Il est trivial de dire cela, mais cela l'est moins lorsqu'on souhaite l'étudier, et encore moins lorsque l'on défend son

ubiquité au sein de l'activité cognitive. En effet, si cette capacité, inhérente à notre organisation conceptuelle — donc dépendante des apprentissages effectués tout au long de notre vie et des expériences personnelles qui les accompagnent — est si étendue dans son champ d'action (*cf.* **1.3.**), il semble raisonnable d'imaginer que les processus qui la sous-tendent ne sont pas spécifiques à certaines activités particulières. Mais les exemples que nous avons survolés concernant les études sur la catégorisation et le raisonnement par analogie ne procèdent pas de la même démarche.

Ne pas réduire la portée des processus utilisés

Dans les deux cas, le domaine de connaissances sur lequel on étudie le sujet est volontairement limité : la justification va de soi, étant donné que l'on doit isoler les facteurs influençant les réponses du sujet et que l'on doit pouvoir comparer les performances enregistrées. Mais il serait faux de croire que l'on limite les connaissances du sujet par le biais d'une liste ou d'un texte présentés qui correspondraient à une partie de ses connaissances réelles. En fait, nous limitons le champ d'*utilisation* des processus étudiés : ces derniers sont utilisés sur du matériel sémantiquement riche mais décontextualisé, le seul contexte étant celui de l'expérience. Le sujet répond alors à la question posée dans la tâche, en fonction du matériel mis à sa disposition, et donne *une solution généralement adaptée à ce type de matériel inséré dans ce type de tâche.*
Prenons un exemple : 10 objets sont présentés face à 3 boîtes dans lesquels ces objets doivent être placés. Que peut-on faire ? Il serait très surprenant qu'un sujet place les 10 objets dans une seule boîte — on a plutôt tendance à équilibrer les rangements ou à dichotomiser les objets et à considérer une catégorie “autre” pour ceux qui n'entrent pas dans les deux premières boîtes. Le problème, révélateur, est qu'un sujet mettant tous les objets dans une seule boîte serait un embarras pour l'expérimentateur...
Dans tous les cas, le sujet met ensemble ce qui va ensemble (voir, pour des exemples plus précis, Rastier, 1991a, pp.180-194) et valide ainsi une hypothèse *a priori* (Dubois, 1991c). La question à laquelle nous devons être attentif est : “pour qui ?”.

Réduire le domaine de connaisssances

Si nous voulons étudier la façon dont sont organisées les connaissances d'un sujet, nous prenons le risque de ne pas pouvoir distinguer une différenciation inter-individuelle et de rendre les comparaisons effectuées sujettes à caution. Si, comme le dit Bastien (1997, p.51), «c'est le processus même de construction qui génère les différences», la possibilité s'offre à nous d'étudier les processus mis en œuvre dans ce type d'activité. Dans ce cas,

la solution est de limiter volontairement le domaine de connaissances sur lequel est étudié le sujet *sans modifier la richesse des traitements conceptuels qui peuvent s'y produire.*

L'étude des processus cognitifs liés à la fluidité mentale est dépendante d'une restriction considérable de son champ d'action : un texte, par exemple, peut faire émerger des connaissances non prévues comme étant pertinentes pour la tâche, et différentes selon les individus, que le sujet peut néanmoins utiliser — il pourra alors être considéré comme “déviant” — ou pas — et dans ce cas, le processus étudié n'est pas celui que mettrait en œuvre le sujet en condition naturelle.
Nous sommes alors en présence de ce que nous appelons un “micro-sujet”, émergeant d'une situation dans laquelle on essaie de l'étudier au sein d'un “macro-monde” représenté par le texte, sémantiquement riche et compris différemment selon l'expérience personnelle de chaque individu.

Ce n'est pourtant pas l'organisation du monde qui nous intéresse, mais les processus par lesquels le sujet organise le sien. Il faut alors créer un monde qu'il doit organiser et sur lequel ces capacités cognitives ne sont pas orientées : le “micro-monde”, c'est-à-dire un monde sémantiquement pauvre mais riche du point de vue des organisation possibles (dans lequel, en quelque sorte, “tout est permis”), permet d'obtenir dans une tâche adéquate un “macro-sujet” qui ne réagit pas en fonction d'habitudes normatives ou d'attentes expérimentales. En d'autres termes, le sujet doit avoir la possibilité d'être fluide. De plus, cette création de micro-monde rend appréhendable les différences inter-individuelles puisque les sujets peuvent alors, à moindre risque, être considérés comme “conceptuellement équivalents” face à un foyer d'organisations potentielles qu'ils ne connaissaient pas. *Nous prônons ainsi une réduction du monde plutôt que du sujet.*

2.3.2. Les modèles : des programmes souples

Bien que le sujet puisse traiter différemment ce qu'on lui présente, et choisir finalement une solution qui reste compréhensible par l'expérimentateur, le modèle lui ne traite que ce qu'on lui donne à traiter. Ainsi, dans le cadre de la modélisation du raisonnement par analogie, deux situations pré-codées sont comparées et les mises en correspondance possibles sont évaluées en fonction de certains critères. Nous avons toujours le problème du macro-monde, quelque peu différent car ce qui ne permet pas d'être codé est réinvestit par le concepteur (comme le montre l'effet ELIZA). Mais surtout, à aucun moment le problème lié à la construction d'une représentation de la source n'intervient dans le processus modélisé, bien que cet encodage représente en quelque sorte la source du processus lui-même (voir, par exemple, Monaghan & Stenning, 1998).

Modéliser l'encodage des représentations

Beaucoup de travaux en intelligence artificielle traditionnelle ont ignoré cet encodage premier, lié au processus de perception, en commençant par des représentations codées "à la main". Chalmers, French et Hofstadter (1992) argumentent qu'une telle ignorance conduit à des modèles *dénaturés* de la cognition humaine.

Concernant les mécanismes liés à la créativité ou au raisonnement par analogie, ils donnent ainsi l'exemple du modèle BACON (Langley, Simon, Bradshaw & Zytkow, 1987; Langley & Zytkow, 1988) qui "découvre" des lois scientifiques *comme le ferait* un scientifique — par exemple, la loi des gaz idéaux de Boyle, la troisième loi sur le mouvement des planètes de Kepler, la loi de l'accélération uniforme de Galilée, la loi de la résistance électrique d'Ohm... Prenons l'exemple de la loi de Kepler, examiné par David Chalmers et ses collègues : le programme possède les données relatives aux distances moyennes des planètes au soleil et leurs périodes. Mais «ce sont *précisément les données requises pour dériver la loi*» (Chalmers *et al.*, 1992, p. 192). Bien sûr, une sélection des données est obligatoire; mais ne donner que les bonnes informations ne renseigne pas sur le processus organisateur des données qu'avait Kepler à l'époque, sur le tri qu'il a du faire pour éliminer les informations non pertinentes, erronées ou simplement gênantes, et encore moins sur le fait qu'il ait mis 13 ans à trouver cette loi[38]... Le programme trouve simplement (en quelques minutes) une équation mettant en relation des données du type : "Planète X : distance moyenne au soleil *y*, période *z*". Mais le modèle doit "découvrir" des lois scientifiques *comme le ferait* un scientifique : pour valider leur modèle, Qin et Simon (1990) demandent à des étudiants de résoudre les problèmes donnés à BACON, ce qu'ils font en une heure environ. L'argument reste bien sûr valable : si Kepler n'avait eu que les bonnes informations, sans doute n'aurait-il pas mis beaucoup plus de temps (Chalmers *et al.*, 1992)...

Modéliser le passage de l'évocation à la résolution

En matière de raisonnement par analogie, le constat est identique : nous avons toujours des modèles perceptifs d'un côté, des modèles à représentations *déjà construites* de l'autre, sans explication quant à leur construction, leur sélection et leur organisation, et sans explication non plus quant au passage de connaissances de la mémoire à long terme,

[38] "Seulement" 2 ans selon Jean-Marie Souriau, ce qui n'enlève rien à l'argument, dont les auteurs de BACON se défendent de la manière suivante : les années correspondent au temps de sommeil, au temps d'effectuer des choses quotidiennes, au temps de monter les expériences et au "temps de calcul" long du système nerveux...

lors de l'évocation, à celles utilisées en mémoire à court terme, lors de la résolution (Cauzinille & Mathieu, 1994).

Deux problèmes sont mis en exergue par Chalmers *et al.* (1992). D'une part, *le problème de la pertinence* : la détermination de la part des données de l'environnement qui est utile dans la construction de la représentation des problèmes est résolu en codant d'une certaine façon les entrées. D'autre part, *le problème de l'organisation* : la détermination de ce qui permet aux données pertinentes d'être organisées d'une façon utile est résolu en orientant les liens entre éléments d'une façon optimale, comme le montre la figure 13 :

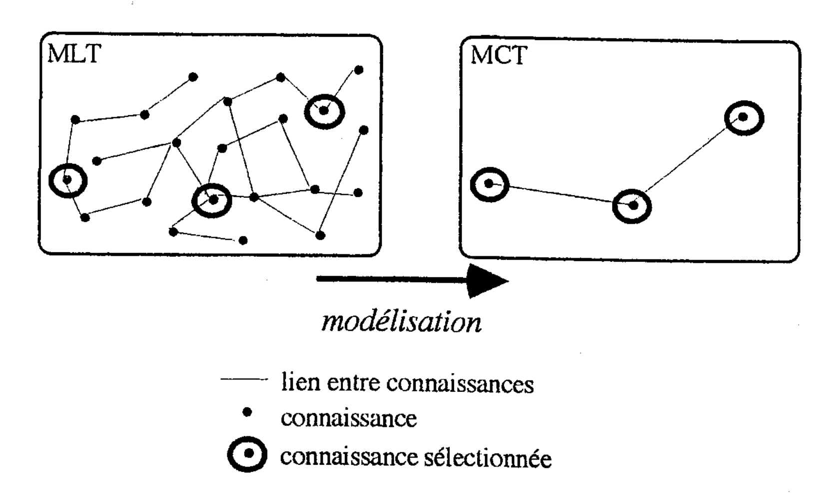


Figure 13. La modélisation classique autorise non seulement une sélection des informations estimées nécessaires et suffisantes, mais aussi une organisation optimale de celles-ci.

Des connaissances potentiellement utiles, nous ne conservons que celles jugées les plus pertinentes, et celles-ci (seulement) sont organisées de façon optimale à une résolution. René Thom disait déjà, en 1973 (p.7), que «ce qui compte dans un modèle, ce n'est pas son accord avec l'expérience [...], mais, au contraire, sa portée ontologique, ce que le modèle affirme sur les mécanismes sous-jacents au processus étudié. Quelle que soit la phénoménologie, il est toujours possible de trouver un modèle quantitatif qui en rende compte au prix d'introduire quelques constantes arbitraires qui permettent d'adapter l'équation à la donnée empirique»[39].

Les processus qui opèrent "au niveau de la flèche" sur la figure 13 sont considérablement réduits à un cadre dans lequel (1) ils n'ont, pour ainsi dire, plus besoin d'intervenir, et (2) aucune adaptation n'est nécessaire. Ainsi, une majorité de modèles fournit une réponse à

[39] La question de savoir si la recherche en psychologie doit être "propre", donc réduite, ou globale, donc "moins propre" est inquiétante. Cette question est discutée à propos de la démarche fodorienne (contestable dans sa justification d'une marche scientifique à suivre pour comprendre les phénomènes cognitifs) dans Vivicorsi (à paraître).

un problème, à moins que des paramètres soient modifiés (par le concepteur) entre deux présentations du même problème. *Nous prônons ainsi une augmentation des sorties possibles plutôt que des entrées* — favorisant ainsi la souplesse d'adaptation du programme plutôt que la qualité (aussi grande soit-elle) d'une réponse, mais seule en course. En d'autres termes, il faut pouvoir modéliser les *possibilités* de réponse (Turner, 1997). Ce souhait est aussi valable sur les expériences : il faut éviter que la réponse en "sortie" soit déterminée par une organisation imposée en "entrée" (voir Dubois, 1991c).

Comme pour les glissements conceptuels, avec l'exemple de la *first lady*, le contexte dans lequel s'effectue l'appariement de deux objets *différents* mais *alors* analogues joue un rôle principal dans l'établissement de cette mise en correspondance — nous dirons dans la perception de l'analogie qui lie ces deux objets dans le contexte considéré. Lorsqu'un problème est résolu par analogie, ce principe demeure, *d'autant plus* que chaque mise en correspondance de deux éléments perçus comme analogues influence alors la perception des autres éléments, donc de leurs potentialités d'appariements les uns avec les autres. Mais dans les études que nous avons vues, le lexique utilisé est résistant aux périphrases et aux variations contextuelles (Dubois, Resche-Rigon & Tenin, 1997) et la perception peut être qualifiée de *contemplative* (Dubois, 1991c).

Hofstadter insiste depuis 20 ans sur cet aspect primordial de ce qu'il appelle la *perception de haut niveau* (*high-level perception*) — cette perception abstraite ou à différents niveaux d'abstraction — dans notre capacité à nous adapter conceptuellement à des situations toujours plus ou moins différentes. Dès 1979 (1979e, tr. fr. 1985, p.687), il déclarait : «c'est une chose d'écrire un programme qui excelle à l'exécution d'une tâche unique qui, lorsqu'elle est effectuée par un être humain, semble demander de l'intelligence, mais c'en est une autre bien différente d'écrire un programme intelligent! Là se retrouve toute la différence entre la guêpe Sphex [*cf.* **1.2.**], dont le comportement câblé a l'apparence trompeuse de la grande intelligence, et un être humain qui observe une guêpe *Sphex*». En critiquant une démarche majoritaire de l'intelligence artificielle, il élabora une famille de modèles opérant sur des micro-mondes et ayant pour objet d'approcher ce mécanisme central inducteur de l'aspect fluide de la cognition.

3. LE PROJET COPYCAT : UNE MODÉLISATION FLUIDE

...Des milliers d'heures de programmation ont été nécessaires pour reproduire ce que notre cerveau accomplit instantanément. Quand je dis *dog*, vous savez instantanément ce que je veux dire, pas vrai ?
— Evidemment.
— Vous savez comment vous y êtes arrivé ?
— Non. J'ai fait ça instinctivement.
— Cet "instinctivement" est le premier problème qu'on affronte dans l'étude de l'intelligence artificielle.

Harry Harrison et Marvin Minsky,
1992, tr. fr. 1994, p.24

Le projet COPYCAT a débuté au début des années quatre-vingts (Hofstadter, 1984a). Il consiste, avec d'autres projets, à réaliser une architecture cognitive artificielle qui respecte certains critères fonctionnels pour permettre la mise en place de glissements conceptuels.

Pour comprendre la démarche qu'a suivie Hofstadter dans le cadre de l'intelligence artificielle, il faut revenir aux origines et aux développements de cette discipline au sein de ce qu'on appelle aujourd'hui les sciences cognitives. En effet, la démarche modélisatrice d'Hofstadter a souvent été qualifiée de marginale en matière de cognition malgré ses bases fondamentalement psychologiques. Nous montrerons dans cette section pourquoi cette démarche est pertinente dans le domaine de la fluidité conceptuelle pour l'architecture cognitive qui la produit.

Les recherches en psychologie ne sont pas indépendantes des philosophies qui sous-tendent la modélisation cognitive.
Après la présentation d'un bref historique rendant légitime cette dernière, nous montrerons que la démarche dominante favorise une recherche en psychologie visant à décrire de façon logique et autonome les capacités cognitives. Malgré un succès considérable de ce paradigme dit *classique*, des phénomènes "moins calculables" encouragent une modélisation plus dynamique, dans laquelle le support du programme censé refléter un acte cognitif n'est plus sans importance.
Nous verrons les avantages et les inconvénients *pour la psychologie* des différents paradigmes prenant place autour du problème de l'émergence d'une cognition à partir

d'un support physique ou biologique. Nous montrerons ensuite, après quelques remarques concernant une modélisation adéquate de la cognition, la place occupée par l'école d'Hofstadter dans ce débat. Enfin, nous présenterons le modèle COPYCAT en détail, dont l'objectif est de modéliser les mécanismes permettant une fluidité conceptuelle sur un micro-monde composé de lettres.

En conclusion, nous évoquerons les critiques adressées aux auteurs du modèle : certaines peuvent être attribuées à une confusion sur les objectifs de la modélisation, d'autres sont légitimes — en particulier par la division des rôles des chercheurs au sein de leur discipline. C'est en ce sens que notre contribution expérimentale, exposée dans la section **4.**, doit être comprise.

3.1. La modélisation cognitive

Imaginons qu'un homme prétende posséder, chez lui, une réplique exacte jusqu'au niveau microscopique (et en marbre, elle aussi!) du *David* de Michel-Ange. Or, quand vous allez voir cette merveille, vous ne trouvez qu'un bloc rectiligne de marbre blanc de six mètres de haut. «Je ne l'ai pas encore *déballé*, explique-t-il, mais je sais qu'il est dedans.»

Daniel Dennett et Douglas Hofstadter, 1981, tr. fr. 1987, p.214

Pour qu'une modélisation de la pensée fut envisageable, il fallut que l'objet à modéliser puisse être appréhendable scientifiquement — il fallut, en quelque sorte, que la pensée en tant que telle puisse être un objet d'étude à part entière. Cette première étape — l'apparition d'une psychologie (*science de la pensée*) — faisait déjà apparaître le problème des liens entre le corps et l'esprit, qui reste l'obstacle majeur à ce qu'on nomme aujourd'hui plus généralement la naturalisation de la pensée.
René Descartes (1641) avait déjà mis en garde cette entreprise contre l'impossibilité d'une science qui réunirait l'âme et le corps. Selon lui, la *science de l'âme* (ou métaphysique) et la *science du corps et du monde externe* (la physique) sont possibles, mais une *science des sens* (de la réunion de l'âme et du corps) ne l'est pas. Prenant l'exemple du morceau de cire, il remarque que lorsque la cire est froide, nous avons accès à un certain type de connaissances, différent de celui auquel nous accédons lorsque la cire est chaude.
Ce passage par les sens rend toute science de l'intersection inaccessible. La solution consiste alors, comme le montre la métaphore du savant et de l'horloger, à *simuler* la réalité en imaginant des mécanismes produisant des effets semblables à ceux que nous percevons. En d'autres termes, nous accédons à la réalité (la *boîte noire*) en créant une réalité simulée, sans jamais être sûr qu'elle corresponde à la première...

Mais il faudra attendre plus de 300 ans avant que la simulation de la pensée soit considérée comme accessible. En effet, simuler les mécanismes d'un objet comme une montre posait peu de problème : on construit un appareil qui indique le temps. Mais comment construire un appareil qui pense ?
A la fin des années trente, la psychologie béhavioriste ne tenait pas ses promesses de science psychologique irréprochable, située à la frontière entre l'interne et l'externe : dresser un catalogue (S-R) des stimuli (S) et des réponses correspondantes (R) devenait de plus en plus difficile à mesure que l'on mettait au grand jour la relation S-R comme étant

non univoque. Malgré des réactions au sein du champ de la psychologie et des sciences humaines en général, une solution apparut dans le domaine de la démonstration mathématique.

En 1925, le mathématicien Hilbert disait de la construction axiomatique de l'arithmétique qu'elle était consistante, complète et décidable. En 1931, Gödel contesta cette thèse et démontra qu'il est impossible, à l'intérieur de l'arithmétique, d'en prouver la non contradiction (inconsistance) et que l'on ne peut ni confirmer ni infirmer la vérité de certaines propositions (incomplétude). Il restait à démontrer l'indécidabilité de ce système, c'est-à-dire démontrer que des problèmes y étaient insolubles. En 1936, Alan Turing imagina alors une machine idéale (la célèbre *machine de Turing*) capable de calculer tout ce qui peut être calculable, et montra qu'il existait des problèmes pour lesquels la machine ne s'arrêtait jamais (indécidabilité).

Outre l'élégance mathématique de la démonstration, et le fait qu'elle déclencha la réalisation des premiers ordinateurs (*computers*), la création de cette machine universelle montra qu'un système formel pouvait calculer ce qu'un autre système calcule. En d'autres termes, nous avions la démonstration que tout ce qui est calculable (par l'esprit humain) *peut l'être* par une machine (formelle) (voir Le Moigne, 1986a; Pitrat, 1985; Pélissier & Tête, 1995, pp.xi-xxii).

Il était enfin permis un nouveau paradigme pour une *approche mécanisée de la pensée* : la pensée pouvait alors être réduite à une pensée *calculable*, et la cognition à une *computation*[40].

3.1.1. Une modélisation cognitive symbolique

Après les travaux de Turing, la pensée (calculable) est donc simulable : le discours de Descartes est alors applicable à la psychologie (Tête, 1994a; Chazal, 1995).

Une pensée calculable

Les premiers à mettre en pratique cette possibilité furent les cybernéticiens (*cf*. Wiener, 1948), en particulier Warren McCulloch et Walter Pitts (1943) qui proposèrent — en utilisant, en plus de la démonstration de Turing (1936), un article de Claude Shannon (1938) dans lequel était développée une représentation des lois booléennes de la pensée au sein d'un circuit électronique — une simulation du cortex sous la forme de neurones

[40] Le mot anglais *computer* a conservé du mot latin *computatio* le sens de calcul sur des nombres, mais aussi le sens de supputer, raisonner — qui deviendra, dans l'approche cognitiviste classique, inférer par la manipulation ordonnée de symboles formels (*cf*. Lenay, 1993).

formels à propriétés binaires d'activation. Ainsi, une reproduction artificielle de la pensée — sous-entendu qu'elle respecte les règles de la logique booléenne — opérationnalisait une boîte noire de structure inconnue mais de fonction simulée. La conception turingienne de l'esprit est alors concrétisée, le cortex faisant figure de machine de Turing par le biais de ces neurones formels. John von Neumann (1948) précise que l'identité cortex-machine n'est valable que dans le cas d'une logique propositionnelle, mais il est permis de comparer le comportement du cerveau réel quand il "mathématise" à un automate qui le simule.

Cette séparation corps-esprit, le premier n'intervenant plus directement dans la production du second, est plus affirmé encore dans un autre article de Turing (1950) dans lequel il expose la possibilité de parler de machines pensantes si celles-ci, par le biais du langage, ne sont pas reconnaissables en tant que machines (*cf.* Lenay, 1993, qui prend comme exemple moderne le minitel rose). Dans son *Jeu de l'imitation* (*Imitation Game*), un interlocuteur doit découvrir par téléscripteur interposé lequel des deux autres interlocuteurs est une machine. Seule l'écriture symbolique représente alors un comportement intelligent de la machine tant que cette dernière n'est pas reconnue comme telle.

Nous n'avons plus, comme chez les cybernéticiens (voir, par exemple, Firrao, 1996), un esprit fonctionnellement reproduit par un cortex simplifié, mais un paradigme de l'esprit sans corps dans lequel se dessinent les germes d'une philosophie *fonctionnaliste* de la cognition — *i.e.*, une fonction peut être réalisée au sein de différents substrats — permettant le développement d'une *intelligenceartificielle* (IA).

Un esprit sans corps

Dès le début des années cinquante, la rencontre entre l'économiste Herbert Simon et le mathématicien Allen Newell rend opérationnelle la simulation de la pensée humaine sur ordinateur avec des programmes de résolution de problèmes de logique symbolique à l'aide d'algorithmes et d'heuristiques (*Logic Theorist* en 1956, *General Problem Solver* en 1972; voir Le Moigne, 1986b). La simulation opérait ainsi exclusivement sur des représentations symboliques. Cette conception computo-symbolique, associée au fonctionnalisme, donna naissance à l'approche cognitiviste en psychologie (Andler, 1992).

Le fonctionnalisme (voir Fodor, 1981; Vivicorsi, 1994), théorie philosophique fondée par Hilary Putnam au début des années soixante, est une conception qui rend indépendants deux niveaux de description d'un système physique capable de faire preuve de capacités dites cognitives. A l'image de l'ordinateur, où l'on peut décrire d'une part ses composants

et son câblage (*hardware*), et d'autre part ses fonctions rendues possibles par l'instanciation d'un programme (*software*), on peut décrire indépendamment le cerveau en termes neuro-physiologiques (les "composants") et l'esprit en termes fonctionnels (le "programme").

Ce dualisme des propriétés (physiques/fonctionnelles) permet une *autonomie du niveau cognitif et de l'explication en psychologie*, dans la mesure où toute théorie psychologique peut se passer de descriptions faites au niveau physique, en l'occurrence neuronal. L'esprit se reconnaît ainsi dans ce qu'il produit, non dans ce qui le lui permet. Comme le dit Simon (1984a, p.36), «l'intelligence, qu'elle soit enchâssée dans un être humain ou dans un chien ou dans un dauphin ou dans un computeur, trouve ses bases et ses racines dans sa capacité à traiter des symboles». Le sujet, absent dans le cadre du béhaviorisme, renaît dans le cognitivisme sous la forme d'un sujet symbolique, universel, utilisant un langage mental (comme le *mentalais* — Fodor, 1975) qui correspondrait à un langage informatique pour l'ordinateur (voir Tête, 1989).

Cependant, si le niveau symbolique est suffisant pour expliquer un phénomène cognitif indépendamment du support qui le fait apparaître, on peut s'interroger sur le fait qu'il soit bien le niveau explicatif nécessaire *quel que soit* le support considéré (Livet, 1986). La cognition ainsi représentée est une cognition exclusivement basée sur les propriétés syntaxiques du langage mental utilisé. Le corollaire est que la plupart des travaux en psychologie se focalisèrent sur les capacités cognitives mises en évidence lors d'activités de résolution de problèmes de type logique, *ou supposé tel* : «un admirable coup aux échecs, une admirable mélodie, un admirable théorème mathématique, etc., partagent un trait commun : tous possèdent des propriétés qui paraissent logiques *a posteriori*, mais que l'on aurait été bien en peine d'annoncer *a priori*» (Hofstadter, 1983, tr.fr. 1988, p.196). La solution adoptée classiquement est de coder les représentations manipulées par le système avant que le traitement ne commence, *ce qui résout le problème avant qu'il ne se pose*. En effet, le véritable travail cognitif ne débute pas lorsque l'information est représentée sous la bonne forme, mais plutôt dès la formation de cette bonne forme (Bechtel, 1991; Chalmers *et al.*, 1992). Par conséquent, les systèmes classiques, étant déjà prêts à manipuler les bons symboles, ne nous apprennent rien sur l'organisation et la véritable nature de nos connaissances.

Une expertise artificielle

L'intelligence artificielle traditionnelle (la *Good Old-Fashioned Artificial Intelligence* ou GOFAI — voir Haugeland, 1995), qui autorise à s'affranchir du cerveau humain comme

support de l'activité cognitive et à considérer que la cognition alors capturée en est une forme universelle (Lenay, 1993) — ne développe que des programmes ne reflétant finalement qu'un éventail étroit des formes de pensée, souvent liés à des domaines spécialisés. Nous sommes alors très éloignés des définitions floues du langage ordinaire (Winograd, 1982).

Dès 1981, Hofstadter parle d'*expertise artificielle* (EA) pour qualifier cette conception traditionnelle : il qualifie ces programmes de virtuoses dans un domaine, mais incapable d'adaptation et très fragiles (voir aussi Lambert, 1994). Si l'on souhaite modéliser la pensée, une telle rigidité n'est pas acceptable. Par exemple, le fait de pouvoir expliquer un comportement de manière formelle et échouer à expliquer un comportement difficilement formalisable entraîne, de la part de certains auteurs, à postuler le fait que la seconde catégorie de phénomènes est minoritaire (Fodor, 1983; Simon, 1995). Mais le seul problème de l'équivalence de stimuli — *e.g.*, reconnaître une même lettre inscrite sous des formes très différentes (Hofstadter, 1982a; Rumelhart & McClelland, 1986) — n'est pas anodin. Comme le fait remarquer Bernard Amy (1996), un pigeon est 100 fois moins puissant qu'une station SUN, mais 100 fois plus rapide en reconnaissance...
Qui plus est, le même système cognitif fonctionne pour les deux types de comportements, ce qui laisse penser qu'il faut rendre compte des deux avec un seul système, même en admettant (ce que nous ne faisons pas) que les seconds sont exceptionnels. Nous pouvons aussi établir une base de données aussi importante que l'on veut, avec des règles s'y appliquant, nous rencontrerons toujours le problème de l'organisation de ces données (Haugeland, 1995, critiquant le projet de Lenat & Guha, 1990) et celui de la détermination de ce qui est *pertinent* face à ce qui ne l'est pas dans une situation (Andler, 1986).

Cette pertinence, si elle semble ne pas être appréhendable par des règles logiques, l'est peut-être par ce qui produit cette logique — en d'autres termes, par le support de la cognition, qui n'avait alors aucune importance dans l'explication *psychologique* d'un phénomène. Ainsi, une modélisation cognitive prenant en compte la sélection d'informations dans un environnement semblait nécessaire.

3.1.2. Une modélisation cognitive connexionniste

Le connexionnisme d'aujourd'hui (voir Rumelhart, 1989; Jodouin, 1990; Bechtel & Abrahamsen, 1991; Abdi, 1993; Nadal, 1993) reprend les thèses défendues par les cybernéticiens dans leur approche basée sur les neurones formels. Ces derniers étaient capables d'effectuer en réseau des opérations logiques. John von Neumann, père de l'ordinateur séquentiel, commence en 1948 à s'intéresser à ce type de réseaux et les rend

plus fiables en 1956 par redondance des unités. En 1958, Frank Rosenblatt complète par sa famille de perceptrons les réseaux conçus pour la reconnaissance de formes en 1947 par Pitts et McCulloch. Les poids (ou forces) des connexions passent alors de binaires à continus, et des procédures faisant varier ces poids sont introduites (donnant les premiers réseaux modélisant l'apprentissage). D'autres types de réseaux, à mémoire associative, sont inspirés par la règle d'apprentissage de Hebb en 1949; cette règle stipule que la force de connexion entre deux neurones a une plus forte probabilité de se renforcer si ces derniers sont associés dans leur activation. Mais l'accroissement des unités restait considérable. Il faut attendre 1963 pour que Winograd et Cowan développent ce qu'on appelle aujourd'hui une représentation *distribuée*, c'est-à-dire un réseau dans lequel les unités reçoivent (et émettent) plusieurs entrées (et sorties). Très vite, de tels réseaux sont élaborés dans l'espoir de modéliser des fonctions cognitives en plus des opérations logiques. Pourtant, en 1969, Minsky et Papert stoppèrent la progression de ce type de modélisation : le Perceptron est inadapté pour modéliser la cognition, il fonctionne sur un principe associationniste, et il est par ailleurs inutile de construire un cerveau artificiel puisque la logique suffit à décrire notre fonctionnement cognitif.

Le néo-connexionnisme

Au début des années quatre-vingts, différents algorithmes sont élaborés par Geoffrey Hinton et l'Ecole de San Diego, dont celui de la rétro-propagation du gradient d'erreur (indépendamment trouvé par d'autres chercheurs); ces algorithmes permettent de construire des réseaux multicouches (des neurones “cachés” sont intégrés entre la couche d'entrée et la couche de sortie) et d'opérer sur des fonctions non linéaires. Par ailleurs, grâce aux apports techniques et théoriques de Hopfield (1982, 1984), des réseaux récurrents, ou bouclés, sont possibles, et une formulation mathématique, issue de la mécanique statistique, peut enfin décrire le comportement des réseaux et mesurer leur convergence vers des états stables (représentant les réponses du système).

Enfin, depuis 1986, la volonté de modéliser les processus cognitifs de manière connexionniste est sans ambiguïté : on parle alors d'émergence de l'activité, de micro-cognition, de traitement parallèle et de processus sub-symboliques. Ainsi, le groupe de recherche PDP, pour *Parallel Distributed Processing* — Traitement Parallèle Distribué (Rumelhart, McClelland & The PDP Research Group, 1986; McClelland, Rumelhart & The PDP Research Group, 1986) —, coordonné par David Rumelhart à San Diego et James McClelland à Pittsburgh, annonce officiellement le but de leur entreprise : «nous souhaitons remplacer la “métaphore de l'ordinateur” comme modèle de l'esprit par la “métaphore du cerveau” comme modèle de l'esprit» (Rumelhart, Hinton & McClelland, 1986, p.75).

La sub-cognition

Les sources évoquées par ce groupe de chercheurs sont issues de recherches conduites en majorité par des neurologues (McClelland, Rumelhart & Hinton, 1986). Mais concéder au fonctionnement cérébral une importance *computationnelle* s'associe à une volonté de ne pas négliger tout un ensemble de comportements — ceux impliquant une certaine *souplesse d'esprit*, très difficilement appréhendables par le paradigme symbolique (Smolensky, 1986). Pour les connexionnistes (adhérant au paradigme subsymbolique — voir Smolensky, 1988), la conception classique est en fait *approximative* : à l'image d'une goutte se détachant d'un glaçon *si les conditions nécessaires sont réunies*, le niveau symbolique (la goutte) *émerge* d'un niveau *sub*-symbolique (le glaçon), qui représente le niveau adéquat exprimant en termes plus précis les processus mentaux (Smolensky, 1992).

Cette conception permet de prendre en considération le fait que, bien que les ordinateurs soient plus rapides et précis que les organismes humains, ces derniers sont plus *malins* : la computation nécessaire au traitement de l'information doit prendre en compte d'une part certaines propriétés de l'architecture cérébrale, d'autre part la considération simultanée de contraintes (Paillard, 1987; Pitrat, 1995). Le premier critère implique un traitement *parallèle* des informations, le second un principe basé sur *l'interaction* entre éléments participant à la computation (McClelland, Rumelhart & Hinton, 1986).

Les représentations distribuées

Dans les modèles PDP, le traitement de l'information prend place à travers les interactions d'un grand nombre d'éléments simples, les *unités*, chaque unité diffusant des signaux excitatoires et inhibitoires aux autres unités. Ainsi, dans ces systèmes, des contraintes peuvent être ajoutées sans pour autant augmenter le temps de traitement, alors que dans les systèmes classiques, cela nécessite une grande complexité computationnelle. Ces unités inter-reliées permettent de ne pas être obligé d'assigner un *pattern* à une unité (représentation *locale*) mais de stocker cette connaissance dans les connexions reliant un grand nombre d'unités (représentation *distribuée*).

Ces représentations distribuées (Hinton, McClelland & Rumelhart 1986) sont une façon d'implémenter les abstractions comme les réseaux sémantiques ou les systèmes de production classiques et comportent plusieurs avantages. Elles fournissent d'une part des propriétés émergentes puissantes et inattendues, propriétés pouvant être impliquées dans la réalisation d'une mémoire adressable par contenu, dans la possibilité d'une généralisation automatique ou dans la sélection d'une règle adaptée à la situation présente — en un mot, ce que l'on peut qualifier d'opérations cognitives de base, très difficilement

concevables dans le formalisme classique. D'autre part, l'apprentissage émerge d'un processus simple se déroulant au niveau des connexions sans qu'une supervision d'ensemble soit nécessaire. En d'autres termes, la connaissance (émergeant des forces de connexion) peut dans les modèles PDP directement influencer le traitement, et l'apprentissage se définit par le fait d'atteindre les bonnes forces de connexion, c'est-à-dire aboutir à une stabilisation d'une solution (Rumelhart & McClelland, 1986).

Les réseaux neuronaux sont particulièrement efficients dans la reconnaissance de formes et l'apprentissage, transformant ainsi la *formulation de la règle explicite* du paradigme symbolique en «acquisition de forces de connexion qui permettent à un réseau d'unités simples d'agir *comme* s'il connaissait les règles» (McClelland *et al.*, 1986, p.32). Ce faisant, les connexionnistes mettent en avant, par le rôle du parallélisme entre connexions, des mécanismes de *modulation* qui rendent les systèmes robustes aux dommages et flexibles dans l'aboutissement à une solution. Malgré tout, il ne faut pas prendre les modèles connexionnistes pour des modèles neuronaux. En effet, plusieurs notions qu'ils utilisent n'ont pas de correspondant neurophysiologique mais sont plutôt des simplifications ou des hypothèses de recherche (Rumelhart & McClelland, 1986; Burnod, 1990). En revanche, ces auteurs défendent une *plausibilité biologique* de la computation utilisée, plausibilité qui devra être acceptée ou rejetée par des travaux neuroscientifiques.

3.1.3. Le “corps” de la cognition

L'homme symbolique

Le fonctionnalisme comme philosophie de l'esprit a pour conséquence immédiate, par l'autonomie théorique du niveau cognitif, la possibilité de se passer de toute donnée neuroscientifique. Dès 1974, Fodor insiste sur le fait que le système cérébral est trop complexe, et que de toute façon les études s'y rapportant se situent au *mauvais* niveau d'explication : « on ne trouve aucun article sur la neuropsychologie de la pensée — sans doute parce qu'on ne sait rien de la neuropsychologie de la pensée. A mon avis, il y a une bonne raison à cela : c'est qu'il n'y a rien à savoir sur la neuropsychologie de la pensée» (Fodor, 1983, tr. fr. 1986, p.153). Le corps n'étant qu'une implémentation parmi d'autres, la théorie “officielle” des sciences cognitives exclut donc les neurosciences dépourvues de toute validité.

Concernant le langage de la pensée comme hypothèse du système de représentation, qui s'intègre parfaitement dans un modèle informatique, Daniel Dennett (1987, tr. fr. 1990, p.52) résume très bien son impact théorique étonnant et en même temps inévitable : «le

seul modèle de système de représentation dont nous disposions est le langage humain. Il s'ensuit que l'argument en faveur du langage de la pensée se réduit à ceci : que pourrait-il y avoir d'autre ? Nous avons jusqu'à présent été incapables d'imaginer une autre solution possible dans ses détails».

L'homme neuronal

L'hypothèse du mentalais était si incroyable qu'elle donna naissance à des "vocations", comme celle évoquée dans une interview de Patricia Churchland (1995) dans laquelle elle signale que c'est Fodor en 1975 qui l'a motivée pour les débats philosophiques : l'hypothèse du mentalais faisait abstraction de l'organe permettant de le produire, le cerveau. Elle s'engagea alors pour montrer que cette hypothèse n'est pas valide, et s'orienta dans ce que l'on appelle aujourd'hui la *neurophilosophie*.
La même année, face à *La modularité de l'esprit* (Fodor, 1983) qui détermine ce qui est étudiable scientifiquement en matière de cognition, on trouvait alors *L'homme neuronal* (Changeux, 1983) pour, en quelque sorte, rétablir l'équilibre : était annoncée l'inutilité à long terme de la psychologie pour répondre à l'inutilité immédiate des neurosciences en matière de cognition.

Le problème corps-esprit

Ces deux démarches, cognitiviste et éliminativiste, proposent un vide entre le symbolique et le neuronal, vide sans conséquence sur le niveau cognitif pour la première, et qui finira par être comblé par l'exhaustivité à long terme d'une explication neuroscientifique pour la seconde. Elles défendent ainsi une réalité qui correspond à leur objet d'études mais négligent chacune une partie du phénomène qui n'apparaît pas dans leur discours respectif (Tête, 1994b).
En effet, que l'on prenne la démarche classique, *descendante*, où le niveau symbolique possède une suprématie sur les niveaux inférieurs, ou que l'on prenne la démarche éliminativiste, *ascendante*, où les niveaux supérieurs sont progressivement "éliminés" au profit d'une explication des processus cognitifs en termes neurobiologiques, nous sommes soumis à une lecture *hiérarchique* qui privilégie la valeur causale d'un niveau plutôt que d'un autre. En d'autres termes, l'éliminativisme part du neuronal pour monter le plus haut possible en conservant son langage, alors que le cognitivisme part du symbolique pour descendre le plus bas possible, en évaluant la pertinence du "plus bas" en matière de cognition par rapport à son discours.

Nous pourrions alors envisager, comme le font en particulier Fodor et Pylyshyn (1988), que le connexionnisme se trouve "du mauvais côté de la barrière" en matière d'explication psychologique : il pourrait alors servir à implémenter une machine classique, turingienne, de façon plus réaliste neuralement. Une métaphore simpliste (figure 14) montre le cognitivisme comme modélisant les fonctions calculables (*e.g.*, une machine à calculer sophistiquée) et le connexionnisme modélisant le contact d'un organisme avec son environnement (*e.g.*, un téléphone) :

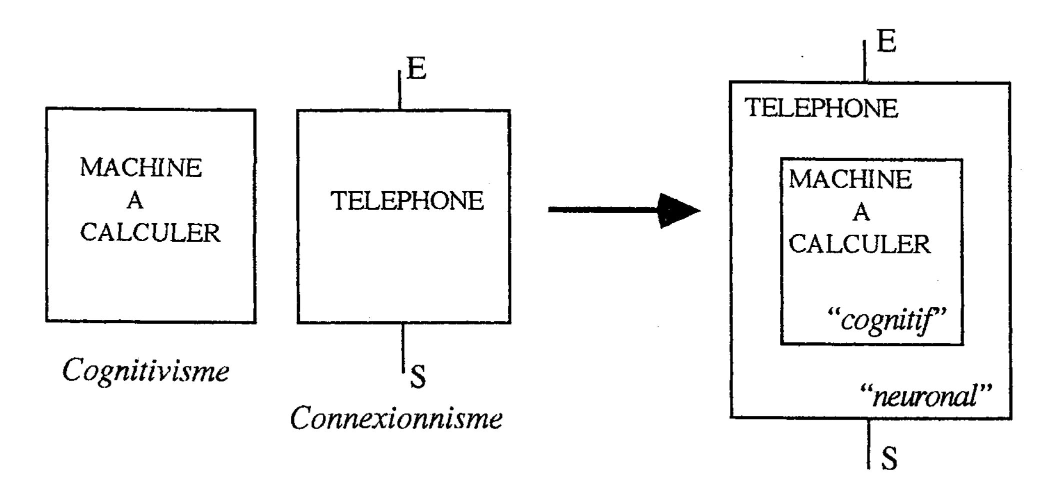


Figure 14. Selon Fodor et Pylyshyn (1988), le connexionnisme ne peut servir qu'à implémenter de manière plus convaincante une architecture cognitive classique en l'intégrant dans un système lié à l'environnement par des entrées (E) et des sorties (S).

De nombreuses réactions firent suite à cette "provocation", qui incita les chercheurs à démontrer la validité *cognitive* du connexionnisme (voir Vivicorsi, à paraître). Ces modèles ont montré leur pertinence en matière de perception (reconnaissance de formes) ou d'apprentissage, dans lesquels une manipulation sérielle de symboles et des formalismes discrets ne permettent que très difficilement de rendre compte de l'aspect *dynamique et contextualisé* des processus impliqués. Par contre, les systèmes connexionnistes ont du mal à rivaliser avec les systèmes symboliques pour rendre compte d'activités plus logiques et finalisées.

Une alternative consiste à penser que la démarche connexionniste intègre ce vide laissé par ses prédécesseurs. Loin s'en faut : elle correspond à un autre type de modélisation, sous la forme d'un formalisme basé sur les mathématiques du continu, et éventuellement compatible avec les neurosciences mais tout en restant computationnelle (Tête, 1994a). Le connexionnisme ne se situe donc plus sur le *tracé* neural-mental mais constitue à lui seul un *nouveau* tracé : il n'intègre pas une philosophie fonctionnaliste mais une *philosophie de l'émergence*, concédant ainsi au niveau inférieur (sub-symbolique) un rôle dans ce qui peut se passer au niveau supérieur (symbolique) (Rumelhart & McClelland, 1986).

L'intérêt de ce débat n'a de sens que s'il est replacé à l'intérieur d'un cadre théorique prenant en compte les *objectifs* d'une modélisation cognitive.

Résumons. Jusqu'en 1986, prôner que la psychologie doit être éliminée car non réductible aux neurosciences, ou qu'elle est autonome, sont des positions trop fortes (Bechtel & Abrahamsen, 1993), mais qui sont en cohabitation relatives, puisque chacune de ces approches reste souveraine dans son domaine, avec son propre niveau et son propre langage[41]. «Ce *modus vivendi* épistémologique est alors d'autant plus acceptable que les terres inconnues qui séparent l'investigation neurologique et le cognitivisme "mentaliste" sont immenses» (Tête, 1994b, p.490).

Le connexionnisme, ne reconnaissant ni l'identité entre cognition et symbolique, ni l'identité entre perception et neurosciences, présente explicitement sa démarche comme une approche plus adaptée à cerner les mécanismes cognitifs au sens large, offrant par là même une possibilité non négligeable d'appréhender *à la fois* la souplesse adaptative de notre système cognitif et ce qui engendre les fonctions cognitives de haut niveau. Il annule du même coup, au sein du paradigme subsymbolique, la frontière séparant le neural du mental.

Modéliser "la" cognition

Cependant, en fonction de préférences accordées à l'une ou l'autre des conceptions, et ceci pour la défense d'une étude dite *cognitive*, le fait est que ce niveau cognitif est plus ou moins extensible, et les variations ne dépendent pas toujours des phénomènes étudiés. Ainsi, les approches par niveaux (neuronal, subsymbolique, symbolique) posent des liens entre niveaux qui deviennent difficiles à définir (Engel, 1995; Pacherie, 1995b). Visetti (1995, p.308) évoque en particulier l'existence de plusieurs modes d'organisation «qui ne s'étagent pas nécessairement en niveaux et peuvent rester hétérogènes».

En d'autres termes, la mise en cause du fonctionnalisme met en doute la valeur théorique du niveau cognitif que doit "atteindre" toute approche s'intéressant aux phénomènes cognitifs (Vivicorsi, 1994). Le débat, s'il consiste à déterminer la meilleure approche, perd alors tout intérêt. Comme le dit van Gelder (1991), il ne faut pas approfondir une approche avec le cadre conceptuel fixé par l'approche concurrente : «le boxeur bat toujours le joueur d'échecs dans un ring, mais ce n'est pas un combat très intéressant» (p.376). Ce qu'il faut, en revanche, c'est approfondir les performances des modèles et leur fonctionnement car les modèles ont des performances différentes en fonction des tâches (Bechtel, 1991)[42].

[41] L'écrivain Justin Leiber parlerait de psychoticiens (ou *vampires*) d'un côté, et de somaticiens (ou *goules*) de l'autre (*cf.* Hofstadter & Dennett, 1981, tr. fr. 1987, p.248).

[42] Sans oublier, comme dans le cas des expériences montrant une possibilité de classement dans une tâche de la part des sujets, qu'un modèle quelconque peut s'avérer relativement pertinent dans la simulation d'un

Le connexionnisme, plus puissant, permet une ouverture sur l'externe, un esprit *apprenant*, mais sans pour autant préciser ce qu'il apprend (Hunter, 1988; Chalmers *et al.*, 1992; Amy, 1996).
Le cognitivisme nous livre une théorie précise d'un esprit *abstrait* mais replié sur lui-même et incapable d'adaptation ni d'évolution (De Gelder, 1991; Chalmers *et al.*, 1992).

D'un côté, l'inférence logique, de l'autre, la reconnaissance de formes. Cette dichotomie est très schématique, mais nous trouvons une première attitude consistant à élaborer des contraintes de type classique pour accéder à des opérations plus abstraites, et une seconde consistant à injecter du probable à l'aide de règles déterministes. En d'autres termes, la mise en garde cartésienne dans l'étude d'un homme unifié reste d'actualité, les systèmes conçus à cette fin n'offrant toujours qu'un aspect de sa cognition (Minsky, 1991; Tête, 1995).

Approches dynamiques chaotiques et vie artificielle

D'autres pistes sont bien sûr explorées (voir Varela, 1988; West & Travis, 1991; Vandervert, 1992, 1995; Lestage, 1994a; Penrose, 1994; Bourgine, 1996; Clergue, 1996), dont certaines entremêlées précisent et apportent des solutions à des problèmes que l'on peut de moins en moins ignorer.
En particulier, les *approches dynamiques ou "chaotiques"*, peut-être encore trop récentes (Eliasmith, 1996; Clark, 1997), mettent l'accent sur le temps effectif d'une opération cognitive (Varela, 1991; van Gelder & Port, 1995; Clark, 1996) et utilisent des mathématiques non linéaires peut-être plus adéquates pour décrire les mécanismes cérébraux dans leur complexité (Skarda & Freeman, 1990; Lestage, 1994b; Daucé & Doyon, 1999; Moynot, Daucé & Pinaud, 1999) et pouvant fournir des indicateurs comportementaux plus précis dans leur prédiction (Barton, 1994; Robertson & Combs, 1995; Poortinga, 1997; Thomasson, Pezard & Renault, 1999).
D'autres travaux, liés à ce qu'on appelle la *vie artificielle* (VA) (Brooks, 1991; Lefevre, 1993; Mitchell & Forrest, 1995; Steels, 1995), ont pour objectif de déterminer les conditions (minimales) permettant à un système informatique ou robotique d'évoluer, qu'il soit langagier (Elman, 1995; Kaplan, 1999) ou simplement adaptatif (voir notamment l'approche des *Animats* — Dean, 1998); ces recherches opèrent elles aussi un rapprochement de deux niveaux disjoints jusque-là, le vivant et le non-vivant (Hofstadter, 1993a).

processus sans pour autant qu'un autre modèle, très différent dans son fonctionnement mais tout aussi pertinent dans la simulation, puisse être imaginé (Livet, 1986).

Ces courants de recherche participent à une compréhension générale et unifiée d'un organisme vivant et adaptatif, exhibant des comportements intelligents et parfois "déviants" (les approches dynamiques, en particulier, se concentrent souvent sur des résultats cliniques). Cependant, la prise en considération de ce type de résultats (acquis de manière parcellée) exige une intégration des paradigmes sous-jacents encore peu évidente, bien que de plus en plus recherchée (Hofstadter, 1995b; Mitchell, 1998). Simon lui-même, très récemment (Simon, 1999), admet que l'aspect chaotique de l'activité et l'émergence de la complexité constituent le but scientifique majeur du prochain siècle, tout en continuant de défendre une hiérarchie structurale des organismes dans lesquels peut être étudiée cette émergence.

En conséquence, les deux paradigmes symbolique et connexionniste restent malgré tout les approches principales. Néanmoins, le développement de modèles mixtes ou hybrides (voir, par exemple, Blank, Meeden & Marshall, 1992; Gutknecht, 1992; Béroule, 1993; MacWhinney, 1993) indique une prise en considération plus complète des activités cognitives, et montre qu'une seule de ces approches ne peut être exhaustive en matière de cognition (Bastien, 1988, 1992). En particulier, le raisonnement par analogie, qui peut «servir de pont au-dessus de ce vide entre les paradigmes symbolique et connexionniste, combinant de manière prometteuse les avantages des deux» (Holyoak & Barnden, 1994, p.2), nous offre plusieurs modèles de ce type : un modèle étendu d'ACME (Holyoak, Novick & Melz, 1994; Hummel, Burns & Holyoak, 1994), et les modèles hybrides ASTRA (Eskridge, 1994), AMBR (*Associative Memory-Based Reasoning* — Kokinov, 1994), REMIND (*Retrieval from Episodic Memory through INferencing and Disambiguation* — Lange & Wharton, 1994), ou LISA (Hummel & Holyoak, 1997).

Cette vigueur modélisatrice hybride met en évidence de façon plus claire un problème qui n'a jamais disparu tout au long de l'élaboration de modèles : *le lien entre perception et cognition*. En effet, la modélisation classique d'un homme sans corps et sans monde peut se passer de l'influence de la perception sur la cognition puisqu'elle considère le perceptif comme informationnellement encapsulé (Fodor, 1983) ou cognitivement impénétrable (Pylyshyn, 1984). La modélisation connexionniste d'un homme qui reconnaît et s'adapte à l'environnement n'est pas obligée de prédire des stratégies de raisonnement internes élaborées.

Mais *notre* architecture cognitive, comme le fait qu'elle a résolu le problème de l'explosion combinatoire évoqué en **2.2.**, nous permet pourtant une vaste gamme de comportements cognitifs, plus ou moins appréhendables dans l'une ou l'autre des approches. Une solution intéressante fut proposée par Hofstadter et ses collègues dans

l'élaboration d'une architecture ni connexionniste, ni symbolique, mais qui *permet* le passage de l'une à l'autre.

3.2. LA DÉMARCHE HOFSTADTERIENNE

> Les bons d'un côté, les mauvais de l'autre. D'accord. Mais au milieu, quoi ? et dans quelle posture ? Habillez-moi ce milieu-là; montrez-moi sa figure et vous aurez tout expliqué.
>
> Norge, 1969, p.37

La conception hofstadterienne de l'esprit est très proche de la conception connexionniste (McClelland *et al.*, 1986; Rumelhart & McClelland, 1986). Ils ont en l'occurrence une source majeure commune (voir Rumelhart, 1995), le système de reconnaissance du discours HEARSAY (Reddy, Erman, Fennell & Neely, 1973; Erman, Hayes-Roth, Lesser & Reddy, 1980).

Hofstadter inspira d'ailleurs Smolensky (1986, 1988) en défendant un niveau subcognitif ainsi que des relations entre mécanismes statistiques et cognition. Mais sa méthode est différente. Il ne doute pas de l'existence de représentations complexes comme le préconise le cognitivisme, mais reproche à l'intelligence artificielle en général son absence de souplesse adaptative et critique la volonté de construire des modèles de capacités cognitives de haut niveau alors que l'on n'a pas résolu des mécanismes de base sous-tendant ces capacités. En particulier, avec son *Fluid Analogies Research Group* (FARG)[43], il défend une conception de l'esprit qui serait à même de décrire et d'expliquer notre capacité à nous adapter conceptuellement à des situations nouvelles.
En cela, il chercha très tôt (Hofstadter, 1979a) à concevoir des systèmes sans séparation arbitraire entre perception et cognition, allant contre Herbert Simon et sa conception d'une modélisation purement cognitiviste. En 1980, Simon déclare que l'étude de la cognition n'a d'intérêt qu'au-delà d'un seuil de 100 ms, le temps qu'il faut pour reconnaître le visage de sa mère[44]. Hofstadter (1982e) prône exactement l'inverse, mettant en avant le rôle de la perception dans l'activité cognitive. Défendant l'existence d'une *émergence statistique* issue des neurones, il propose de prendre en compte ce lien entre perception (subcognition) et cognition — c'est-à-dire entre ce qui est en-deçà et au-delà des 100 ms — afin de ne pas négliger certaines caractéristiques propres à notre système cognitif.

---

[43] Hofstadter dirigea à partir de 1977 le FARG à l'Université du Michigan; depuis 1988, il dirige le CRCC (*Center for Research on Concepts and Cognition*) à l'Université d'Indiana.
[44] Voir Simon (1981), même si les 100 ms se sont transformées en 10 ms — ce qui ne change d'ailleurs pas grand chose au débat.

Cette attitude visant à mettre en avant la perception va à l'encontre de toute la démarche classique de modélisation, mais aussi d'une conception rigide de l'activité cognitive. Les activités entraînant une création d'analogies, base de la fluidité conceptuelle, sont des "bons tests" pour évaluer une architecture cognitive, car un lien entre les mécanismes de bas niveau (perceptifs) et des processus de haut niveau (la recherche d'une solution) est exigé, en plus de précisions sur l'organisation conceptuelle sous-jacente.
Cette fluidité n'est pourtant pas suffisamment prise en compte par Simon qui, à la question "la métaphore et l'analogie ne sont-elles pas cruciales pour la pensée humaine ?" répondit que «l'usage réussi de la métaphore et de l'analogie intervient peu souvent et non sans peine» (Simon, 1984b, p.605). Il précise qu'il est très difficile de transférer des connaissances (seule utilité qu'il reconnaît au raisonnement par analogie) et que, par conséquent, *nous ne le faisons pas souvent.* Ailleurs, il défend l'idée, s'appuyant sur les comportements experts, que la clef de l'intuition est la recognition, et qu'«un ordinateur doté d'une riche banque de données serait tout à fait capable d'intuition» (Simon, 1984c, p.628)[45]. Enfin, une dénotation ou désignation est considérée comme une intention, et les mécanismes observés sur les ordinateurs suffisent, selon Simon, à y identifier les mécanismes observés sur les humains : si vous observez un comportement et pensez que le sujet a fait preuve d'intuition ou de créativité, ce critère peut s'appliquer pour l'ordinateur. Ce dont il manque est simplement d'assez d'argent et de temps (Simon, 1995)...
Mais ce n'est pas vrai. Les activités modélisées sont généralement des activités qui nécessitent un effort conséquent de la part des sujets — comme jouer aux échecs —, non celles qui apparemment ne nécessitent aucune réflexion : «ce sont les aptitudes mentales les plus banales — et non les plus rares — qui constituent encore le cœur du mystère» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.284). De plus, même avec une banque de données suffisamment riche, comment pourrait-on prévoir les perceptions d'analogies permettant une recherche de solution adaptée à un problème posé dans un contexte particulier ?

Entre une attitude pratique, fodorienne, dans laquelle l'étude scientifique du raisonnement par analogie est impossible, et une position théorique, simonienne, qui en fait quelque chose de négligeable, la perception et la création d'analogies interviennent malgré tout dans une multitude d'activités des plus simples au plus complexes (*cf.* **1.3.**). L'explosion combinatoire, sous-jacente à la mise en correspondances d'une infinité d'éléments possibles, *réduit autant en psychologie que dans les modélisations cognitives l'ensemble des phénomènes étudiés.* Au sein de ce débat sur la prise en compte de la

[45] Simon (1984c) ajoute un peu plus loin qu'une base de données suffisante de la langue française pourrait rendre un ordinateur équivalent à un auteur comme Proust... (voir, sur la question d'un roman dont l'"auteur" est un programme, Hofstadter, 1995a).

fluidité conceptuelle, Hofstadter a alors proposé une façon de modéliser la recherche d'une solution à partir d'une multitude de possibilités.

3.2.1. Une architecture cognitive : l'architecture-fourmilière

L'approche classique en intelligence artificielle défend une computation au niveau symbolique — le niveau *cognitif* dans cette conception. Hofstadter (1979a, f-h, 1982e) propose une inversion des rôles : nous ne sommes pas des manipulateurs de symboles, mais nous sommes au contraire *manipulés* par nos symboles, ce qui relègue la cognition au résultat de processus mettant en jeu l'interaction de milliers de structures subcognitives. En d'autres termes, ce n'est pas la cognition qui est computationnelle, mais la *subcognition* : ce ne sont pas les symboles qui sont sujets au calcul, ce sont des calculs probabilistes qui font que des symboles sont activés et utilisés.

Des symboles "actifs"

En cela, Hofstadter prend exemple sur l'architecture neuronale, dans le sens où cette dernière montre une souplesse dûe à l'interaction d'une multitude d'activations. Il ne va pas jusqu'à défendre une approche neurophysiologique de la pensée, mais imagine une architecture prenant appui sur les phénomènes collectifs comme ceux apparaissant dans les sociétés d'insectes : «il faut imaginer des équipes de fourmis coopérant pour accomplir des tâches, et des informations se transmettant d'une équipe à une autre sans qu'aucune des fourmis ne s'en aperçoive (...). (...) J'ai le sentiment qu'on touche à un point critique lorsqu'on se concentre sur les phénomènes collectifs, notamment sur l'idée qu'une information, une connaissance ou des idées peuvent être présentes au niveau des activités collectives, tout en étant totalement absentes au niveau le plus bas. En fait, on peut même aller jusqu'à dire qu'*il n'y a pas* d'information au niveau inférieur» (Hofstadter, 1982e, tr. fr. 1988, p.680). Plus précisément, la solution envisagée par Hofstadter est de concevoir une architecture de l'esprit qui s'apparente de manière métaphorique au comportement d'une *fourmilière* : au niveau d'une colonie de fourmis, on peut parler d'intelligence *collective*, mais l'on ne peut pas parler d'intelligence *individuelle* au niveau de la fourmi, l'information que l'on peut extraire d'un comportement collectif ne se situant pas chez l'individu, mais bien dans la société prise comme un tout (Lewin, 1993; Fresneau & Errard, 1994; Theraulaz, 1994).

Hofstadter (1982e) utilise cette analogie pour expliquer sa conception des symboles. Les modèles issus de l'intelligence artificielle traditionnelle définissent un symbole comme l'équivalent d'un récipient, vide (de sens; *cf.* l'exemple de Mr Limasse au **2.2.2.**) : ce

sont des symboles *passifs*, les fourmis dans la métaphore. Les symboles qu'il propose représenteraient des équipes ou des super-équipes de fourmis, là où il peut y avoir une information, une dénotation : ce sont des symboles *actifs*, ne nécessitant aucun superviseur (Hofstadter, 1979a; Kaplan, Weaver & French, 1990). En d'autres termes, l'intelligence artificielle traditionnelle «prend pour prémisse que les pensées elles-mêmes sont des êtres computationnels à leur propre niveau. (...) La différence entre mes symboles actifs (les "équipes") et les symboles passifs (les fourmis, les simples éléments) des tenants de l'IA-traitement de l'information tient à ce que les symboles actifs circulent et agissent par eux-mêmes. (...) Ils ne peuvent être passifs comme des entrepôts, des corbeilles, des réceptacles à information» (Hofstadter, 1982e, tr. fr. 1988, p.681).

Une computation sub-cognitive

La computation s'effectue alors au niveau des fourmis, des éléments simples interagissant, et non au niveau des équipes de fourmis, où l'information circule. Il défend ainsi la non primauté du symbolique sur la pensée, et une non manipulation de symboles, puisque ceux-ci n'apparaissent pas au niveau computationnel : «il n'y a pas de manipulateur central, ni de programme central. Il n'y a qu'une grande foule d'"équipes" — des configurations de décharges neuronales, qui, telles des équipes de fourmis, déclenchent l'activité d'autres neurones. Les symboles ne sont pas "là en bas" au niveau des décharges individuelles; ils sont "là en haut" où nous faisons nos constructions verbales. Nous ressentons en nous leur agitation, un peu comme celle de notre estomac; nous ne *faisons* pas de la manipulation de symboles par quelque action volontaire, encore moins au moyen d'un ensemble de règles de déduction logique. Nous ne pouvons décider de notre prochaine pensée, ni de celles qui sont à venir» (Hofstadter, 1982e, tr. fr. 1988, p.682).

Ainsi, au même titre que l'ordinateur ne manipule pas de symboles, le cerveau ne manipule pas de pensées : «la pensée n'est pas une activité formelle dont les règles existent à ce niveau» (*Ibid.*, p.683).

Une émergence statistique

La computation subcognitive nécessite, à défaut d'information pouvant diriger son issue, un grand nombre d'éléments qui permettent, lorsqu'ils interagissent, l'émergence d'actions descriptible par des lois statistiques : c'est lorsqu'une activité dépasse un certain seuil qu'elle entraîne une autre activité, cette dernière pouvant en retour influencer les activités de plus bas niveau — comme dans le cas de la construction d'une arche par les termites. La figure 15 représente les relations entre des traitements ascendants issus

d'interactions locales et traitements descendants orientant en retour ces interactions locales :

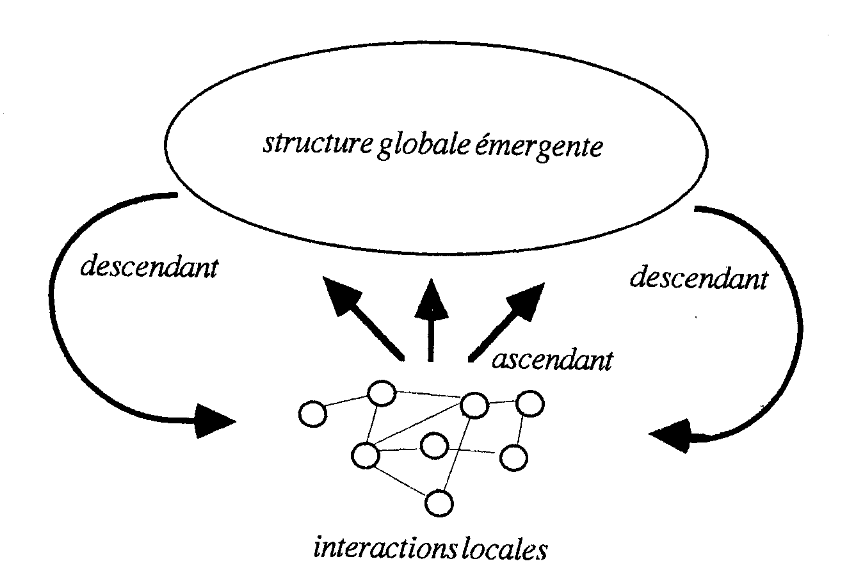


Figure 15. Des micro-actions produisent par leurs interactions un comportement structuré, comme dans le cas de *la construction d'une arche par les termites* : chaque termite effectue une action infime mais les interactions opérant entre ces actions infimes orientent le travail collectif vers la construction de l'arche. L'émergence progressive de cette structure produit en retour des orientations sur les actions de chaque termite, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'arche soit finie.

Dans le cerveau comme dans la fourmilière, «l'activité de haut niveau se déroule spontanément, guidée par les actions autonomes de milliers et de milliers d'éléments des niveaux inférieurs» (Hofstadter, 1982e, tr. fr. 1988, pp.687-688).

Dans les deux cas, ce qui compte ce sont les statistiques, "moteur" de l'émergence, et c'est pourquoi Hofstadter prône un renversement de paradigme, dans le sens où le symbolique n'est pas l'origine du mental[46] : «je suis convaincu que, tant que l'IA n'aura pas été mise cul par-dessus tête, et ne sera pas montante à cent pour cent, elle n'atteindra ni le niveau ni la qualité de l'intelligence humaine. A coup sûr, quand cette architecture existera, il y aura encore des éléments cognitifs de haut niveau, de portée globale — mais ce seront des épiphénomènes, comme ceux du cerveau. Ils ne seront pas computationnels en eux-mêmes. Ce seront plutôt des tas et des tas de petits événements computationnels qui les mettront en action, et non l'inverse. Autrement dit, *la subcognition du bas mènera à la cognition du sommet.* Et, ce qui est peut-être le plus important, les activités se déroulant à ce niveau cognitif supérieur n'auront été ni écrites ni même prévues par aucun

[46] Jean Petitot relève aussi, contre Fofor et Pylyshyn (1988), l'aspect tardif du symbolique dans les événements mentaux : «si elle est *naturelle*, la "formellité" de l'esprit, du langage et du sens ne peut pas être symbolique» (1990, p.146).

programmeur. Telle est l'essence de ce que j'appelle *le mental en tant qu'émergence statistique*» (Hofstadter, 1982e, tr. fr. 1985, pp.688-689).
Plus précisément, Hofstadter cherche à remplacer la démarche prônant deux niveaux indépendants (le neuronal et le symbolique) — dans laquelle le seul niveau utile pour l'intelligence artificielle était le symbolique — par deux niveaux interactifs, un collectif dont l'activité est non déterministe et régit par des lois statistiques, et un symbolique, dont l'activité (émergeante du premier) est déterministe et peut influencer les probabilités d'actions des éléments du niveau inférieur. Cette émergence de type statistique servirait ainsi de pont entre l'informel et le formel, entre perception et cognition (voir aussi Barthélémy, de Glas, Desclés & Petitot, 1996).

Cette architecture-fourmilière (Vivicorsi, 1996a) est ainsi présente dans tous les modèles hofstadteriens (*cf.* Hofstadter & the FARG, 1995) : de micro-actions indépendantes (la perception) *émerge* un processus de macro-niveau (l'opération cognitive en résultant). Cette boucle apparaissant entre des micro-actions et des structures émergentes progressives rend alors possible transition d'un fonctionnement parallèle, aléatoire et dominé par des forces ascendantes à un fonctionnement plus sériel, déterministe et dominé par des forces descendantes — *i.e.* le *passage* d'un réseau connexionniste à un système classique et une modélisation du "vide" évoqué plus haut (*cf.* le fonctionnement du modèle COPYCAT en **3.3.2.**).

3.2.2. Les thèmes et les modèles du *Fluid Analogies Research Group*

Défendant la créativité comme comportement résultant d'une adaptation conceptuelle, la volonté d'Hofstadter de créer des modèles "créatifs" représente une tentative d'élaborer des programmes qui pourront être qualifiés d'*intelligents*, donc de rechercher par le biais de la modélisation ce qui permet la fluidité. Tous les projets qu'il a bâtis au sein de son équipe dès le début des années quatre-vingts sont tous imprégnés de cette vision d'une émergence auto-régulée laissant la possibilité de "pensées fluides" sans pour autant interdire une direction privilégiée parmi d'autres possibles qui réponde de façon adaptée au problème posé.

Des thèmes privilégiés et idéalisés

Les thèmes abordés, au sein de recherches profondément pluridisciplinaires, concernent tous la fluidité conceptuelle (*cf.* **1.3.**) : les erreurs de langage et les contrefactuels avec David Moser (Hofstadter & Moser, 1989), pour pister les glissements conceptuels; la traduction dans une douzaine de langues de jeux de mots (Hofstadter, 1979) ou de

poèmes (Hofstadter, 1997) pour mieux comprendre si possible le "squelette conceptuel" véhiculé quelle que soit la langue. Sur la même voie, l'étude du langage sexiste et de la nature de l'humour (avec Liane Gabora) s'avèrent des domaines efficaces pour isoler des effets culturels forts dans nos habitudes conceptuelles (Hofstader & Gabora, 1989). Enfin, des recherches sur la perception et la créativité illustrent le problème des contraintes dans le processus créatif en art (sur la musique avec Steve Larson) ou en science (sur les mathématiques et la physique), et le processus de créativité lui-même est étudié dans le domaine des ambigrammes (ou analogies visuelles) (Hofstadter, 1985).

Pour étudier ces processus, des micro-mondes ont été créés dans lesquels une souplesse d'actions est possible tout en conservant un contrôle des réponses possibles. Nous verrons en détail celui de COPYCAT, mais Hofstadter s'interroge dès 1977 sur la recherche d'une segmentation "logique" d'une séquence de chiffres — plus généralement sur la recherche de *patterns*, de configurations qui apparaissent "par elles-mêmes" et qui sont perçues comme des configurations et non comme des séquences quelconque de chiffres (voir Hofstadter, 1995c). Par exemple, dans la suite :

2, 1, 2, 1, 1, 2 ...

des regroupements sont perceptibles qui entraînent chacun une façon de compléter la suite :

2, 1, 2, 1, 1, 2 => **(2 1) (2 1 1)** (2 1 1 1) (2 1 1 1 1) ...
2, 1, 2, 1, 1, 2 => **(2) (1 2) (1 1 2)** (1 1 1 2) ...
2, 1, 2, 1, 1, 2 => **(2) (1 2) (1 1 2** 2) (1 1 1 2 2 2) ...

Les projets

C'est ce couplage entre perception et cognition (entre une perception à un certain niveau d'abstraction et la recherche d'une solution) qui est modélisé dans une série de projets depuis 1978 (voir Hofstadter, 1992) :

> JUMBO : ce projet, sur la recherche d'anagrammes, fut modélisé en 1982 et inaugure l'architecture cognitive (basée sur les mécanismes cellulaires du cytoplasme, autre domaine d'inspiration avec les sociétés d'insectes) permettant une fluidité artificielle (Hofstadter, 1983/1995).
>
> SEEK-WHENCE : ce projet (conçu avec Gary McGraw et Marsha Meredith — voir Hofstadter, 1981, 1995c) s'articule autour de problèmes d'analogies portant sur des suites de nombres, dans lesquelles il faut rechercher le

correspondant désigné d'une suite dans l'autre. L'aspect central est la recherche de frontières dans des séquences, traduit dans le titre du projet (qui signifie "chercher d'où ça vient" et qui s'écrit comme "séq-hence"). Le programme résultant possède très peu de connaissances arithmétiques (il n'applique aucune opération, il "sait" que 9 est supérieur à 4 mais pas de combien, il "connaît" les notions de successeur et de prédécesseur et "peut" compter dans les deux sens) et doit répondre à des questions du type :

Soient les deux structures : A : 1 2 3 4 5 5 4 3 2 1

B : 1 2 3 4 4 3 2 1

Question : "Qu'est-ce qui joue dans B le rôle que 4 joue dans A ?"

Ce micro-monde préfigure celui de COPYCAT.

NUMBO : projet réalisé par Daniel Defays en 1986, il utilise l'architecture conçue dans JUMBO sur un domaine numérique et modélise les liens entre perception et cognition au sein du jeu *Le compte est bon* (Defays, 1987)[47].

LETTER-SPIRIT : initié en 1979 (avec Gary McGraw et maintenant John Rehling), ce projet est basé sur l'idée que les lettres de l'alphabet en tant qu'entités visuelles sont de riches exemples de la flexibilité conceptuelle. Deux questions sont posées : qu'est-ce que *la lettre*, c'est-à-dire en quoi une lettre ressemble à une autre lettre du même type (*cf.* figure 2), et qu'est-ce que *l'esprit*, c'est-à-dire en quoi les lettres d'un même alphabet s'apparentent-elles les unes aux autres (*e.g.*, dans la police Zapf Chancery)* ? Un programme du même nom est capable de créer un alphabet à partir de quelques lettres, *i.e.* un programme capable de "percevoir" ce qui est commun à ces quelques lettres et d'appliquer cet "esprit" à d'autres lettres (Hofstadter, 1985, 1995d; Hofstadter & McGraw, 1995; Rehling & Hofstadter, 1997).

COPYCAT : initié en 1983 par Hofstadter (1984a), développé par Melanie Mitchell et Robert French (Hofstadter, Mitchell & French, 1987; Hofstadter & Mitchell, 1988) et modélisé par Mitchell (1993), le projet aborde la question de "faire la même chose" sur des problèmes d'analogies créatives conçus sur un matériel alphabétique (*cf.* **3.3.1.**). En particulier, le programme peut donner plusieurs réponses différentes au même problème selon les analogies qu'il "perçoit".

* illustration de couverture de Hofstadter 1995 ? non.

[47] Voir aussi Defays (1988) qui expose très clairement l'application des principales idées liées à ce type d'intelligence artificielle.

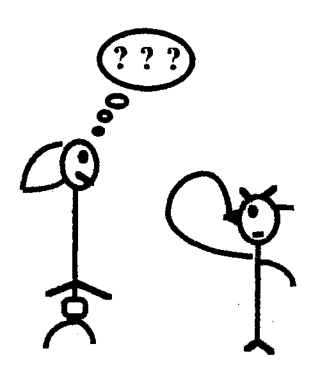
TABLETOP : initié en 1984-1986, il débuta comme une variante de COPYCAT et devint avec Robert French (1995) un projet indépendant centré sur la création d'analogies plus concrètes. Deux personnes sont placées de chaque côté d'une table sur laquelle repose des objets liés à la restauration. Lorsque l'une des deux sélectionne un objet, l'autre doit “faire la même chose”, en sélectionnant un autre objet adéquat (French & Hofstadter, 1991; Hofstadter & French, 1995).

METACAT : initié au début des années quatre-vingt-dix, l'objectif de ce projet (avec James Marshall) est d'améliorer le programme COPYCAT sur le même matériel en lui attribuant la possibilité d'évaluer et de conserver certaines des réponses qu'il fournit. En conséquence, METACAT élabore ses réponses en réutilisant certaines analogies qu'il a précédemment “perçues” et “évaluées” (Hofstadter, 1993a; Marshall, 1997; Marshall & Hofstadter, 1998).

Plus précisément, ces projets et modèles concernent les points suivants (voir Hofstadter, 1995c, pp.84-85) : (1) la non séparabilité de la perception et de la cognition de haut niveau, en insistant sur le rôle joué par la perception de structures abstraites dans la recherche d'une solution; (2) les représentations issues de cette perception abstraite sont modulées selon le niveau d'abstraction auquel se place la perception “retenue” parmi toutes les perceptions de structures possibles; (3) le rôle de contraintes ou de pressions subcognitives pouvant orienter la perception de concepts : plus un concept est difficile à percevoir, plus il influencera l'activité probabiliste du processus inférieur; (4) l'existence de pressions multiples, sensibles ou non sensibles au contexte, qui rendent nécessaire une architecture non déterministe à la base dans laquelle co-existent les traitements ascendant et descendant; (5) l'exploration simultanée de plusieurs chemins de résolution, s'effectuant à des vitesses différentes en fonction d'une évaluation rapide de la qualité de la réponse à laquelle aboutit chacun d'entre eux; (6) le rôle central joué par la création d'analogies et les variations sur un thème dans l'activité cognitive de haut niveau; (7) l'existence au sein des représentations conceptuelles d'aspects plus ou moins profonds, différemment sensibles au contexte, qui autorisent graduellement les glissements conceptuels; (8) le rôle fondamental joué par les structures conceptuelles et par le voisinage conceptuel, notamment les proximités conceptuelles permettant des glissements en fonction du contexte et les profondeurs conceptuelles, plus abstraites.

Nous allons maintenant voir en détail le projet COPYCAT, dans lequel sont illustrés tous ces points et qui a inspiré notre travail expérimental présenté en section **4**..

3.3. Le projet COPYCAT



Douglas Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.589

Copycat veut dire "celui qui imite"[48]. Et être un imitateur, c'est "faire la même chose". Le problème qui peut alors se poser, c'est justement de pouvoir faire la même chose malgré des contraintes (externes) et des pressions (internes) faisant de la réponse imitante qu'elle doive être adaptée à ces contraintes et à ces pressions. Hofstadter (1985, 1993b) montre que la fonction imitative est très vite liée à une capacité créative, celle-ci étant nécessaire pour s'adapter à la situation : dans l'exemple du dessin ci-dessus, nous observons un garçon qui touche son nez avec une de ses mains; comment la fille peut-elle faire "la même chose", étant donné qu'elle ne peut *apriori*, avec l'une de ses mains, ni toucher le nez du garçon, ni le sien (deux des réponses possibles que l'on pourrait rapidement fournir dans cette situation) ?

«Le but particulier du projet COPYCAT est de développer plus en détail les idées de ces projets [JUMBO et SEEK-WHENCE] en élaborant un modèle de la façon dont la perception interagit avec les concepts pour engendrer des glissements conceptuels appropriés — et parfois créatifs — dans le domaine de la création d'analogies, un domaine dans lequel la nécessité de construire des représentations mentales fluides et adaptables est particulièrement manifeste» (Mitchell, 1993, p.8).
Plus spécifiquement, ce projet se focalise sur le rôle d'une perception dite de *haut niveau* (ou perception *abstraite*) — *i.e.*, percevoir un objet ou une situation à un certain niveau d'abstraction — permettant de filtrer l'essence abstraite d'une situation qui peut alors s'appliquer dans une autre situation. L'architecture du modèle est basée sur l'interaction d'un grand nombre d'agents perceptuels avec un réseau associatif et sensible au contexte

[48] Le film américain du même nom de 1995, de Jon Amiel, met justement en scène une psychologue spécialisée dans les tueurs en série devenant la victime d'un individu qui imite les plus grands crimes de ses pairs des trente dernières années.

de concepts enchevêtrés. Cette architecture permet une mise en œuvre de cette perception abstraite et rend le modèle capable de fournir une vaste étendue de solutions différentes au même problème.

L'objectif avoué de cette modélisation est d'approcher les processus mis en œuvre par les humains lorsqu'ils sont confrontés à des situations qui exigent une certaine adaptation conceptuelle. En d'autres termes, bien que le modèle opère sur un micro-monde idéalisé, son fonctionnement doit correspondre non pas à l'activité consistant à raisonner par analogie, mais bien à une activité fluide *générale* dont nous sommes capables dès qu'une situation l'exige (*cf.* **1.3.**). Le modèle COPYCAT est ainsi un modèle qui engendre des glissements conceptuels à partir d'une interaction entre perception d'analogies et conceptualisation dynamique. La réponse du modèle est alors une solution *parmi d'autres*, obtenue par émergence progressive d'une structure prometteuse à partir d'une perception *parmi d'autres* des correspondances possibles entre éléments composant les problèmes. De plus, l'architecture du modèle lui permet, à tout moment, de changer d'orientation de résolution pour aboutir à une solution "non prévue" au départ. Ainsi, il répond de manière appropriée au problème consistant à "faire la même chose" — où "même" représente le terme *glissant*, à adapter.

3.3.1. Le micro-monde de COPYCAT

Inspiré de la méthodologie de la physique, Hofstadter (1984b) a conçu un micro-monde dans lequel les phénomènes cognitifs étudiés apparaissent de façon claire. Cette philosophie des micro-domaines existe bien sûr en psychologie, comme le prônaient Noam Chomsky et Fodor : il faut *«essayer de trouver un petit domaine qui ait le moins de rapports possibles avec le reste et chercher à l'étudier comme une sorte de proto-modèle de ce qui se passe»* (Chomsky & Fodor, 1979, p.392).
Mais la différence est que pour ces derniers, le sujet fait une action spécifique dans un monde complexe, tandis que pour Hofstadter, le sujet fait une action globale dans un monde simple. Nous avons déjà parlé des avantages d'un micro-monde réduit pour obtenir un macro-sujet (*cf.* **2.3.1.**). Un exemple en psychologie est l'étude de l'apprentissage implicite sur des grammaires artificielles, qui montre bien l'avantage de réduire le champ d'action du sujet tout en sauvegardant le maximum des processus qu'il utilise couramment (voir Didierjean, 1997).

Des problèmes d'analogies créatives sur un alphabet non circulaire

Le micro-monde de COPYCAT (Hofstadter, 1984b; 1985, tr. fr. 1988, pp.587-615) est construit sur les 26 lettres de l'alphabet, celui-ci n'étant pas circulaire (il n'y a rien avant le **a** et rien après le **z**). Chaque lettre "connait" sa voisine la plus proche, "reconnait" la voisine de sa voisine, et ne "connait" pratiquement pas les voisines suivantes. Une vision **q**-ienne de l'alphabet serait la suivante :

. . .i j k l m n o p q r s t u v w x y . . .

Les seules relations connues sont celles de prédécesseur et de successeur entre voisins immédiats, et l'alphabet peut se lire dans les deux sens.

Ce micro-monde extrêmement simple permet la construction de problèmes d'analogies d'une grande richesse, présentés sous la forme de deux énoncés successifs, le premier montrant une transformation, le second demandant une transformation :

"si **abc** devient **abd**, que devient **ijk** ?"
ou plus formellement
"abc >> abd, ijk >> ?"

Nous avons dans un premier temps **abc** qui se transforme en **abd**; il nous faut savoir ce qui a changé, et appliquer *en l'adaptant* ce changement à **ijk**. Même lorsque le problème est aussi simple, les réponses sont multiples :

— si l'on considère que le **c** de **abc** devient le **d** de **abd**, comme **ijk** ne contient aucun **c**, la solution est **ijk** (aucun changement n'est appliqué);

— si l'on considère que la *lettre la plus à droite* **c** de **abc** devient le **d** de **abd**, la *lettre la plus à droite* **k** de **ijk** devient **d**, et la solution est **ijd** (dans les deux cas, la *lettre la plus à droite* devient **d**);

— si l'on considère que la *lettre la plus à droite* **c** de **abc** devient son *successeur* **d** dans **abd**, la *lettre la plus à droite* **k** de **ijk** devient son *successeur* **l**, et la solution est **ijl** (dans les deux cas, la *lettre la plus à droite* devient son *successeur*).

Une simple variation de la troisième chaîne de lettres permet alors de "forcer" une adaptation plus fine pour résoudre le problème tout en sauvegardant le plus possible les relations entre les deux énoncés. Prenons par exemple "**abc >> abd, kji >> ?**" :

— si l'on considère que le **c** de **abc** devient le **d** de **abd**, comme **kji** ne contient aucun **c**, la solution est **kji** (aucun changement n'est appliqué);

— si l'on considère que la *lettre la plus à droite* **c** de **abc** devient le **d** de **abd**, la *lettre la plus à droite* **i** de **kji** devient **d**, et la solution est **kjd** (dans les deux cas, *la lettre la plus à droite* devient **d**);
— si l'on considère que la *troisième lettre* **c** de **abc** devient son *successeur* **d** dans **abd**, la *troisième lettre* **i** de **kji** devient son *successeur* **j**, et la solution est **kjj** (dans les deux cas, la *troisième lettre* devient son *successeur*);
— si l'on considère que la *troisième lettre alphabétiquement ordonnée* (la *lettre la plus à droite*) **c** de **abc** devient son *successeur* **d** dans **abd**, la *troisième lettre alphabétiquement ordonnée* (la *lettre la plus à gauche*) **k** de **kji** devient son *successeur* **l**, et la solution est **lji** (dans les deux cas, la *troisième lettre alphabétiquement ordonnée* devient son *successeur*);
— si l'on considère que la *lettre la plus à droite* **c** de la *suite alphabétique "croissante"* **abc** devient son *successeur* **d**, la *lettre la plus à droite* **i** de la *suite alphabétique "décroissante"* **kji** devient son *prédécesseur*, et la solution est **kjh** (dans les deux cas, la *lettre la plus à droite* devient son *successeur* ou son *prédécesseur* selon le *sens de la suite alphabétique*).

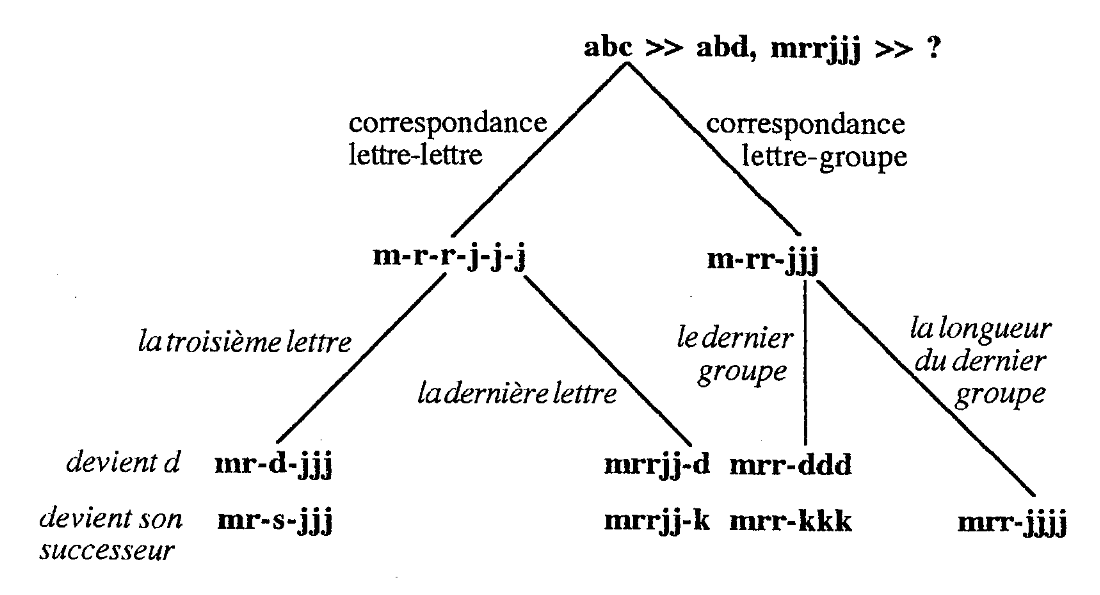


Figure 16. Quelques solutions au problème **abc >> abd, mrrjjj >> ?**, selon que l'on considère : une correspondance lettre-lettre (**c-r** ou **c-j**), dans laquelle la *troisième* (**r**) ou la *dernière* (**j**) lettre change, en **d** (**mrdjjj** ou **mrrjjd**) ou en son *successeur* (**mrsjjj** ou **mrrjjk**); une correspondance lettre-groupe (**c-jjj**), dans laquelle le *dernier groupe* (**jjj**) change, en **d** (**mrrddd**) ou en son *successeur* (**mrrkkk**); une correspondance lettre-groupe plus abstraite (**c-jjj**), dans laquelle la *longueur du groupe* **jjj** (**3**) devient son *successeur* (**4**), donnant la réponse **mrrjjjj**.

Partant du simple énoncé "**abc** >> **abd**", et en variant la troisième chaîne de lettres, nous pouvons alors exercer des contraintes *externes* (sous la forme d'un nombre de lettres plus grand) ou des pressions *internes* (sous la forme d'un regroupement de lettres que l'on a tendance à effectuer lorsque les lettres sont identiques), et compliquer considérablement la recherche d'une solution adaptée : dans le problème "**abc** >> **abd**, **mrrjjj** >> **?**", nous avons le passage de 3 à 6 lettres (quelle est celle qui va changer ?) et l'apparition de

groupes de lettres (va-t-on alors les "découper" ?). La figure 16 résume quelques possibilités de réponses dépendantes de la perception considérée du changement et de l'endroit où elle est appliquée.

Résolution et glissements conceptuels

Cette résolution de problèmes d'analogies *créatives* — dans la mesure où plusieurs solutions sont possibles — peut être expliquée par les glissements conceptuels qui sont effectués entre le premier énoncé "**abc** >> **abd**" et le second. En effet, chaque problème exige de déterminer *ce qui peut glisser d'une situation à l'autre*. Dans le dernier exemple, la règle "la *dernière lettre* devient son *successeur*" pour passer de **abc** à **abd** devient "le *dernier groupe* devient son *successeur*" pour passer de **mrrjjj** à **mrrkkk**. Le glissement *lettre >> groupe* permet d'appliquer un changement d'une lettre sur un ensemble de lettres. Dans l'exemple précédent, nous appliquions "la *lettre la plus à droite* devient son *prédécesseur*" pour obtenir la réponse **kjh**. Dans ce cas, le sens inverse de **kji** par rapport à **abc** favorise un glissement *successeur >> prédécesseur*. La figure 17 montre, de façon similaire à l'exemple concernant la première dame (*cf.* **1.1.2.**), les glissements effectués pour obtenir la réponse **mrrjjjj** :

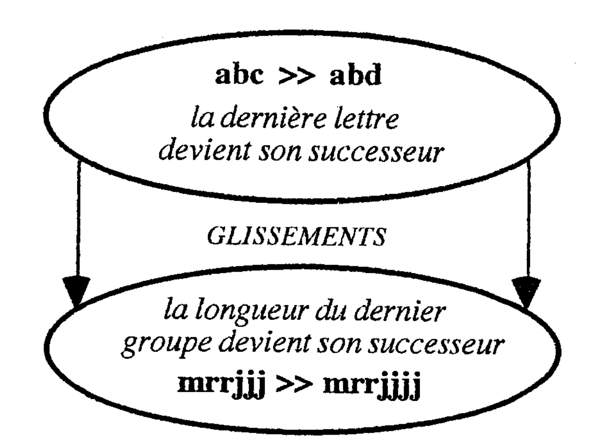


Figure 17. Les glissements effectués entre l'énoncé **abc** >> **abd** et l'énoncé **mrrjjj** >> **mrrjjjj** : "lettre" devient "groupe" et "successeur" devient "+1".

Des niveaux d'abstraction différents

Les niveaux d'abstraction correspondent alors à la façon de considérer la chaîne de lettres : celle-ci peut être composée de lettres (**abc**), de groupes (**iiii**), de succession de groupes (**m-rr-jjj**), de succession de groupes eux-mêmes successifs (**lm-fg-oq**), mais aussi de longueurs de groupe : pour répondre **mrrjjjj**, il faut percevoir, **m-rr-jjj** comme **1**m-**2**r-**3**j et appliquer la règle "la *longueur du dernier groupe* devient son *successeur*", ce

qui donne **1**m-**2**r-**4**j — la succession "lettrée" devenant une succession "chiffrée". Le niveau d'abstraction par lequel est perçu la chaîne entraîne une mise en correspondance parmi d'autres qui va aboutir à un certain type de solutions.

Ainsi, la perception abstraite opérée sur le problème est le déclencheur de glissements conceptuels. Considérez le problème suivant :

"eqe >> qeq, aaabccc >> ?"

Comment adapter une inversion symétrique des deux lettres dans le premier énoncé à une chaîne de lettres qui en contient trois ? Alors que plusieurs solutions sont acceptables dans les problèmes précédemment évoqués, celui-ci exige littéralement un changement de perception pour réduire la chaîne **aaabccc** à une chaîne où l'on puisse effectuer une inversion symétrique satisfaisante. La solution donnée par Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, p.631) est comparable à la démarche qui nous a permis d'accepter **mrrjjjj** : **aaabccc** doit en effet être perçu comme **3**a-**1**b-**3**c, soit **3-1-3**, ce qui, inversé, donne **1-3-1**, donc la solution **abbbc**...

Un monde idéalisé

En plus de la clarté des phénomènes observés que permet l'usage d'un micro-monde, un autre avantage est d'éviter l'effet ELIZA (*cf.* **2.2.2.**). On ne peut ici attribuer des connaissances sémantiques *générales* au programme étant donné qu'il ne "connait" que l'alphabet (non circulaire), des relations d'opposition, de succession, et qu'il sait compter jusqu'à 5. Cela ne veut pas dire que le micro-monde n'est pas *psychologiquement* intéressant (voir **3.4.2.**), mais le travail de modélisation n'est pas induit en erreur par l'utilisation de domaines conceptuels sémantiquement riches.

Hofstadter et Gabora (1989) comparent ainsi certaines réponses du problème "**abc >> abd, ijk >> ?**" aux différentes réponses d'une blague célèbre :

> Americain : Voyez comme nous sommes libres en Amérique — personne ne nous empêche de manifester devant la Maison Blanche en criant "A bas Reagan!"
> • Russe : Nous, en Russie, sommes aussi libres que vous — personne ne nous empêche de manifester devant la Maison Blanche en criant "A bas Reagan!" (la solution correspondante, très littérale, est **abd**)
> • Russe : Nous, en Russie, sommes aussi libres que vous — personne ne nous empêche de manifester devant le Kremlin en criant "A bas Reagan!" (la solution correspondante, moins littérale, est **ijd**)
> • Russe : Nous, en Russie, sommes aussi libres que vous — personne ne nous empêche de manifester devant le Kremlin en criant "A bas Gorbachev!" (la solution correspondante, adaptée mais plus du tout humoristique, est **ijl**)

En fin de compte, l'expression "A bas Reagan!" correspond au **d**, mais le programme manipule le **d** et non l'expression que, *nous pouvons* lui attribuer.

En conséquence, le programme COPYCAT qui résoud des problèmes de ce type n'est pas contraint par un domaine sémantique particulier — ce qui est souvent le cas dans les autres modèles — ni par des représentations 'codées à la main', puisqu'il aboutit à une réponse en fonction de la représentation qu'il se fait lui-même du problème. Les réponses sont dépendantes de pressions concurrentes (un nombre différent de lettres, des sens alphabétiques différents, etc.) qui "poussent" vers une réponse plutôt qu'une autre, en fonction (1) du niveau d'abstraction auquel sont perçues les chaînes de lettres subissant la transformation et (2) des promesses d'une correspondance commençant à être construite. Cette compétition entre plusieurs perceptions et les conséquences qu'elles ont sur le choix d'une réponse est au centre de l'architecture du programme qui modélise les interactions entre pressions *ascendantes* (issues de la perception des aspects "évalués" pertinents) et pressions *descendantes* (issues des concepts activés qui, en retour, "orientent" la perception des correspondances).

3.3.2. Le modèle COPYCAT

COPYCAT (Mitchell & Hofstadter, 1990; Mitchell, 1993; Hofstadter & Mitchell, 1994) est un modèle mixte, utilisant une symbolique de haut niveau assujettie à un système connexionniste de bas niveau. L'originalité du modèle va cependant plus loin car, plus qu'un modèle dans lequel une partie serait symbolique et l'autre connexionniste, elle se situe dans une approche *intermédiaire*, entre les approches dominantes : l'aspect fluide de la cognition se situe dans cette intersection entre les deux types de modélisation, *i.e.* dans l'espace vide déjà évoqué (*cf.* **3.1.3.**).

L'architecture cognitive

L'architecture-fourmilière est réalisée dans ce programme de la manière suivante. Les agents indépendants, correspondants aux fourmis dans la métaphore, sont représentés par des *codelets*, qui proposent des correspondances de façon aléatoire au départ entre les différentes chaînes de lettres. Ces explorations en parallèle, toutes décidées et acceptées de façon probabiliste, vont activer des concepts qui pourront à leur tour orienter certaines correspondances. Cette architecture permet de modéliser le mécanisme de perception de haut niveau en évitant non seulement, par l'utilisation d'un micro-monde, l'effet ELIZA, mais aussi une expertise artificielle critiquée par Hofstadter et ses collègues (Chalmers *et al.*, 1992).

En effet, le programme peut élaborer une réponse *parmi d'autres*, *non déterminée* par un certain codage de la représentation du problème sur laquelle il opère, et *non prévisible* tant que le programme n'a pas terminé sa résolution. De plus, le réseau conceptuel, intervenant dans le modèle, est connexionniste de nature, à ceci près qu'il est *glissant* : son rôle dans l'obtention d'une représentation dynamique des glissements conceptuels fait que chaque concept est représenté par un halo conceptuel centré sur un nœud particulier (Hofstadter, 1988). Les distances entre ce noyau et les concepts reliés à ce nœud et à d'autres nœuds vont favoriser certains glissements parmi d'autres, ces derniers ayant une répercussion sur les activités des codelets dans leur recherche de structures perceptives. Le système peut ainsi être flexible dans la mesure où une interaction continue entre le processus de construction de la représentation et sa manipulation est possible.

L'architecture cognitive du modèle (Vivicorsi, 1996b) se compose de trois composants majeurs (*cf*. figure 18):
• le réseau glissant (*Slipnet*) — un réseau de concepts enchevêtrés, reliés entre eux par des liens numériques évoluant au cours de la résolution et facilitant ou non des glissements;
• l'espace de travail (*workspace*) — un foyer d'activité perceptive dans lequel des instances des concepts sont combinés à des structures perceptives temporaires;
• le codelier (*coderack*) — un espace contenant différents types de codelets (conduisant à la construction de différents types de structures) sélectionnés de manière stochastique pour agir dans l'espace de travail.
Un quatrième élément, la *température*, est utilisé pour mesure l'entropie du système, c'est-à-dire son niveau d'organisation cohérente au fur et à mesure de l'orientation du système vers une solution.

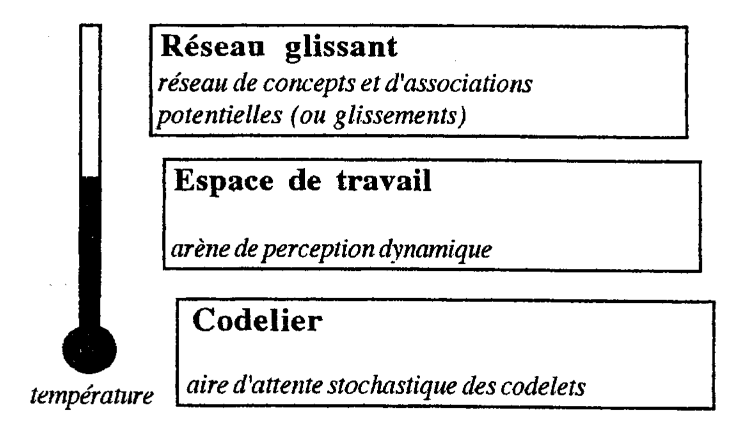


Figure 18. Les éléments composant l'architecture du modèle COPYCAT (Mitchell, 1993, fig. 3.1. p.37).

Le réseau glissant

Le réseau glissant, composé de nœuds et de liens, est le lieu où «résident» les concepts, qui sont chacun composés d'un nœud central et d'un halo associatif composé d'autres noeuds qui lui sont liés. Sa composition est donnée dans la figure 19 :

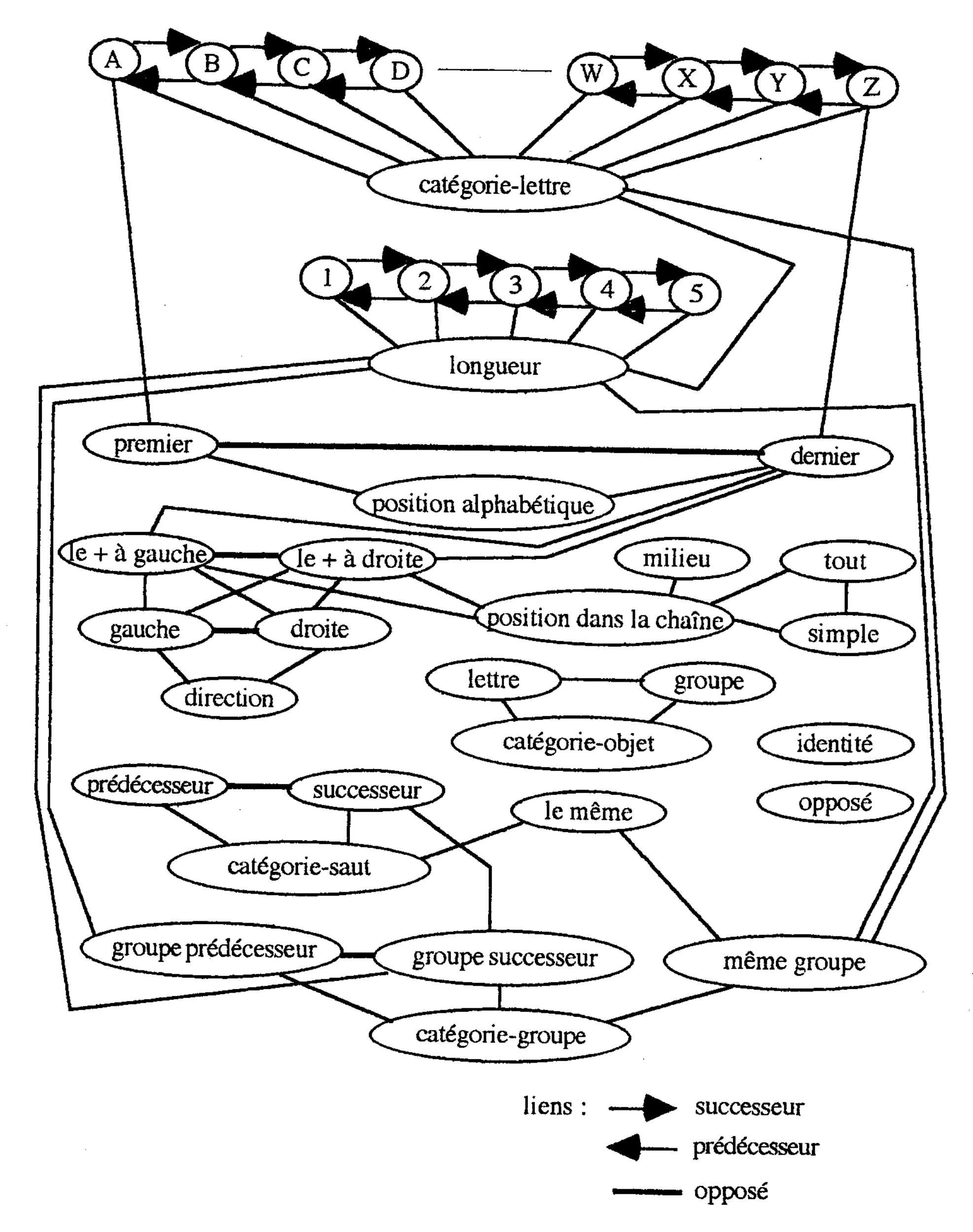


Figure 19. Le réseau glissant du modèle COPYCAT (Mitchell, 1993, fig. 3.4, p.47).

Les lettres telles que A représentent la catégorie-lettre dans laquelle **a** est un exemplaire. Lorsque "**abc** >> **abd**, **ijk** >> **?**" est présenté au programme, les nœuds A, B et C, I, J, K, LETTRE, CATEGORIE-LETTRE, POSITION DANS LA CHAINE, LA PLUS A DROITE, LA PLUS A GAUCHE, MILIEU sont activés. Les activations d'autres nœuds du Slipnet vont

dépendre des correspondances "perçues" entre les chaînes **abc** et **abd** d'une part, entre les chaînes **abc** et **ijk** d'autre part.

Chaque concept a une *profondeur conceptuelle* qui lui est associée, représentée par une valeur (de 10 à 90) fixée d'avance en fonction de la facilité avec laquelle est perçu le concept. L'idée est la suivante : la profondeur d'un concept est d'autant plus grande que sa perception est difficile. Dans le problème "**abc** >> **abd, kji** >> **?**", A a une valeur associée moindre (10) que SUCCESSEUR, qui a une valeur moindre (50) que OPPOSÉ (90). Une fois perçus, ces concepts ont plus d'influence (pressions descendantes) sur la perception en cours d'une situation que les aspects moins profonds et restent plus longtemps activés.
Les liens représentent la proximité conceptuelle d'un concept avec un autre : un lien court montre un degré d'association élevé. Ces liens ne restent pas constants et dépendent de ce qui a été perçu. Lorsque, par exemple, OPPOSÉ est activé (ce qui veut dire que la relation qu'il représente pour le problème a été "jugée" pertinente), tous les liens qui lui sont associés rétrécissent. Les relations sont alors plus proches, et les concepts plus "glissables". Dans l'exemple précédent, un glissement peut alors être opéré entre LE PLUS A DROITE et LE PLUS A GAUCHE, et cette décision sera prise de façon probabiliste par les codelets en fonction de la proximité conceptuelle des deux nœuds.

Les distances entre concepts peuvent donc être modifiées au cours de la résolution, et ce sont ces distances qui déterminent à tout moment quels glissements sont plus ou moins probables. Le réseau répond ainsi de façon dynamique à la situation : les nœuds acquièrent différents niveaux d'activation qui correspondent d'une certaine façon à une mesure de ce qui est pertinent à ce moment dans la situation; cette activation diminue dans le temps et varie selon l'activation des concepts voisins; la pertinence perçue de chaque concept dépend alors de la façon dont le programme "comprend" la situation pas à pas. Cette perception fait varier dans le même temps les distances reliant chaque concept, ce qui détermine les glissements potentiels du moment. De cette façon, un concept est plutôt identifiable à un nuage probabiliste ou *halo* centré sur un nœud et s'étendant par diffusion de son activation. Les variations de liens font qu'un nœud appartient à un halo ou à un autre. Ainsi, le réseau ne doit pas être considéré comme rigide et composé de liens et de nœuds mais plutôt comme un espace dans lequel des halos conceptuels s'enchevêtrent différemment au fil du temps.

L'espace de travail

L'espace de travail est le composant dans lequel sont construites les structures perceptuelles sur les trois chaînes du problème données en entrée. Six types de structures peuvent être construites :

— des *descriptions* d'objets (le **a** est LE PLUS A GAUCHE dans **abc**);

— des *ponts* représentant des relations entre des objets dans la même chaîne (**a —> b** dans **abc** est un pont-successeur);

— des *groupes* d'objets dans la même chaîne (**jjj** dans **mrrjjj**; le **m** ici peut alors être considéré comme un groupe d'une seule lettre);

— des *correspondances* entre les objets de différentes chaînes (par exemple, **c—jjj** dans le problème "**abc** >> **abd**, **mrrjjj** >> **?**");

— une *règle* décrivant le passage de la chaîne initiale à la chaîne modifiée (comme "remplacer la lettre la plus à droite par son successeur" pour passer de **abc** à **abd**);

— une *règle traduite* décrivant le passage de la chaîne cible à la chaîne représentant la réponse ("remplacer la longueur du groupe le plus à droite par son successeur" pour passer de **mrrjjj** à **mrrjjjj**); cette traduction dépend des descriptions des objets (voir **jjj** comme un *groupe de lettres* ou comme un *groupe de longueur 3*) et des correspondances construites entre les chaînes.

Ces constructions sont effectuées par les codelets, chacun représentant une petite partie du processus. Une structure construite peut influencer directement la construction d'autres structures *compatibles* avec elles, mais chaque résultat issu des compétitions entre plusieurs structures constructibles est décidé de façon probabiliste.

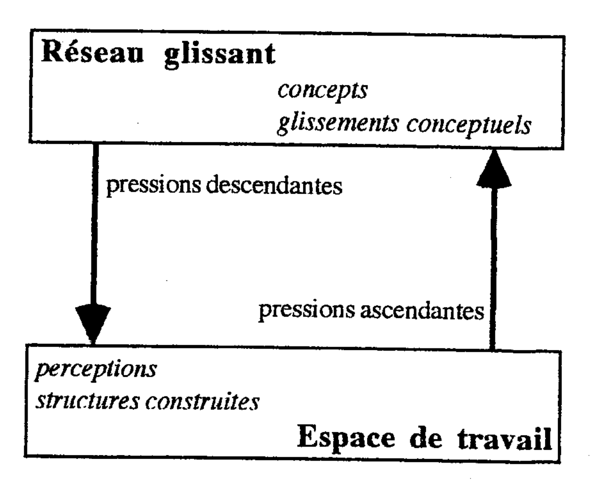


Figure 20. Les constructions de structures décidées de façon probabiliste influencent l'activation de certains concepts (pertinents liés à ces structures) et donc de certains glissements conceptuels, qui en retour, influencent la sélection de codelets, donc les probabilités que certaines structures soient construites.

Les interactions s'effectuant entre le réseau glissant et l'espace de travail correspondent ainsi aux interactions entre traitement ascendant et traitement descendant (figure 20 supra).

Le codelier = En. Code rack

Le codelier représente une "rampe de lancements" des codelets qui ont chacun une fonction particulière. Les codelets *ascendants* représentent les pressions présentes dans toutes les situations (descriptions des objets, recherche de relations ou de correspondances...); les codelets *descendants* représentent les pressions évoquées par la situation en question (constructions de structures par rapport au problème...). Au départ, il n'y a que des codelets ascendants; un codelet est choisi de façon probabiliste et est retiré du codelier, ceci à chaque pas. Les codelets tentent alors de construire des ponts entre les objets et de les décrire d'une certaine façon, incitant d'autres codelets à les suivre dans la direction qu'ils ont prise. Le précédent assigne une valeur d'urgence au suivant, influençant la probabilité que ce dernier soit choisi, donc que la pression qu'ils exercent dans la perception de l'ensemble soit plus grande. Les codelets descendants interviennent lorsque des codelets ascendants proposent la construction d'une structure en fonction des relations qu'ils ont trouvé entre les objets. La construction est évaluée de façon probabiliste, et si la structure est construite, les codelets activent les nœuds représentant dans le réseau les concepts associés à cette structure. Ces activations affectent à leur tour la génération de codelets qui "travaillent dans le même sens".

Par conséquent, la population des codelets change au fur et à mesure que le traitement se déroule, en réponse aux besoins du système estimés par les codelets et par les activations de patterns dans le réseau glissant liées aux structures construites. Les valeurs d'urgence, influençant les choix probabilistes sans jamais n'autoriser qu'une direction, font que les structures les plus prometteuses tendent statistiquement à être explorées plus vite que celles qui le sont moins; c'est la notion d'*exploration parallèle en terrasse* (*parallel terraced scan*[49]). Le parallélisme n'est évidemment que théorique pour des raisons techniques, mais comme dans le cas de la fourmilière ou de la construction d'une arche par des termites, une vision globale du fonctionnement montre des micro-actions parallèles donnant au programme "le *potentiel* de suivre des chemins risqués (et peut-être invraisemblables ou fous) afin de lui permettre d'avoir la flexibilité de suivre ceux qui sont les plus subtils et les plus judicieux" (Mitchell, 1993, p.229). Les structures, par ailleurs, possèdent une force mesurant leur qualité, qui varie avec le temps (dépendant de l'ensemble des structures construites). En règle générale, plus les correspondances sont compatibles entre elles, plus la structure qui en résulte sera forte.

[49] *Scan* veut dire scruter, et "en terrace" exprime le fait que les différentes explorations envisagées ne vont pas toutes à la même vitesse et n'ont pas toutes la même force.

Tout le traitement est donc effectué par des micro-actions indépendantes d'où émerge, au niveau macroscopique, un *processus*. Ce processus est ainsi qualifié *a posteriori*, car tant que le programme n'a pas fini son traitement, tout reste possible. Néanmoins, plus des pressions de même sens sont enregistrées, plus certaines des structures possibles seront explorées, avec une plus grande probabilité d'être construites.

Un fonctionnement dynamique

La dynamique du modèle est liée à l'interaction des trois composants : dans l'exemple de la chaîne **mrrjjj**, si des codelets réussissent à grouper les trois dernières lettres **jjj**, le concept GROUPE va être activé, ce qui va entraîner la sélection de codelets pour la recherche d'autres groupes susceptibles d'être élaborés dans la chaîne. Si les décisions probabilistes font que le groupe **rr** est construit, une pression descendante (en raison de la forte activation du concept GROUPE et des concepts associés) va “pousser” la perception de l'ensemble de la chaîne comme une structure de groupes, ce qui peut avoir comme conséquence de considérer **m** comme un groupe d'une lettre (figure 21) :

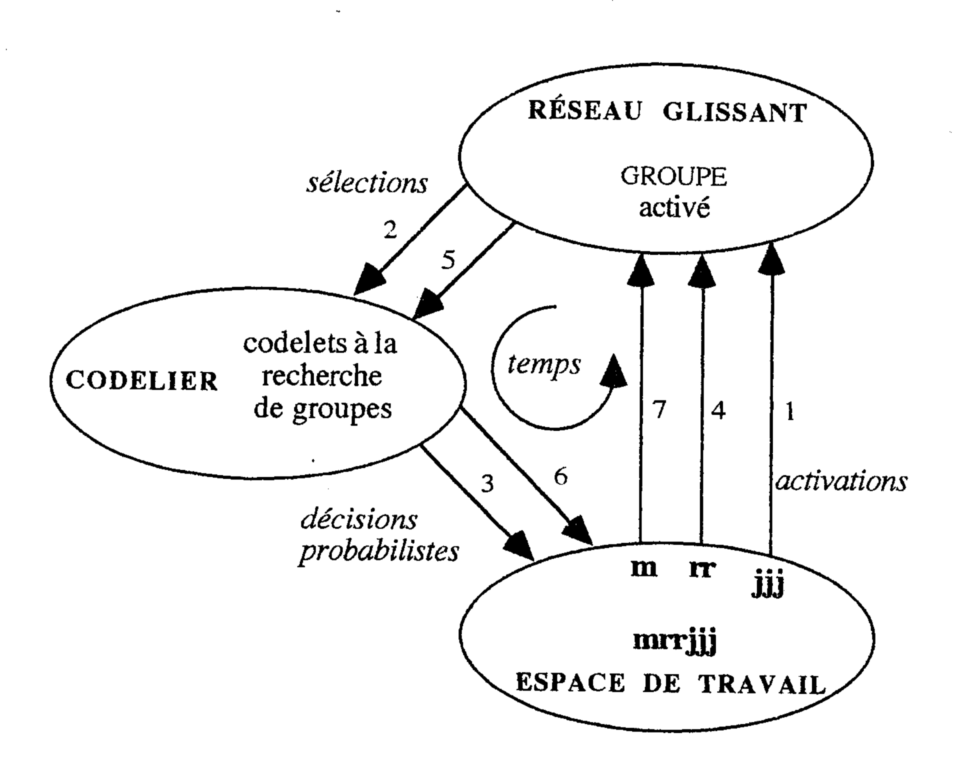


Figure 21. Un exemple de l'interaction dynamique des trois composantes du modèle COPYCAT : dans la chaîne **mrrjjj**, la construction d'un groupe **jjj** active le concept GROUPE, donc la sélection de codelets recherchant d'autres structures de groupes possibles; **rr** a alors plus de chances d'être perçu comme un groupe de deux lettres, ce qui augmente l'activation dans le réseau du concept GROUPE et des concepts associés; cette forte pression descendante permet alors de considérer **m** comme un groupe d'une seule lettre.

Plus généralement, la figure 22 résume les interventions de chaque composante du système :

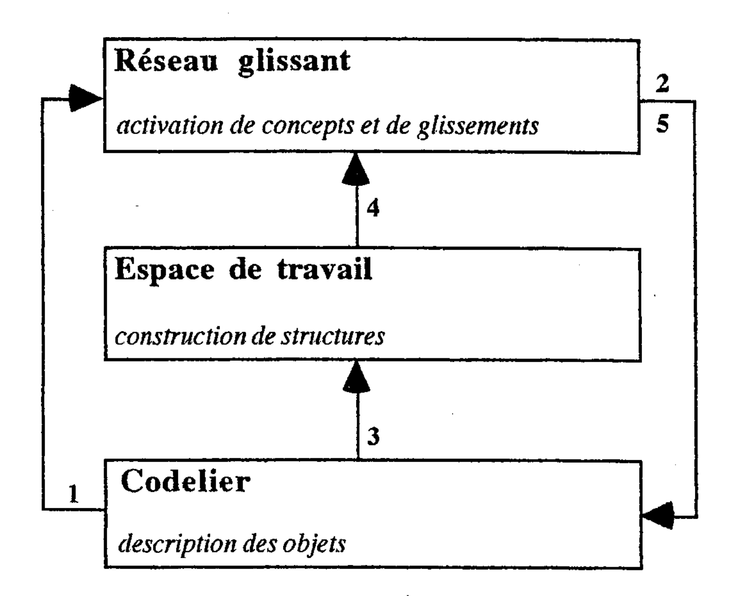


Figure 22. L'interaction des trois composantes du modèle : les codelets décrivent les éléments du problème et activent les concepts correspondants (**1**); cette activation oriente les nouveaux codelets (**2**) dans la recherche de structures constructibles (**3**); la construction de structures activent les concepts correspondants (**4**) qui orientent le choix des codelets (**5**), et ainsi de suite.

Le rôle de la température

Il ne reste plus qu'à réguler la dynamique interactive pour que le programme aboutisse à une solution. Ce rôle est joué par la *température* (Mitchell & Hofstadter, 1989). Paul Smolensky (1986) utilise aussi dans son *Harmony Theory* une “température computationnelle” qui mesure la dose d'aléatoire qui est introduite dans le système. Face à une situation nouvelle, le système a une température élevée, ce qui indique qu'aucune structure n'est encore construite, et donc que toute structure a potentiellement ses chances. «Petit à petit, des structures conceptuelles plus vastes commencent à se former et à se confirmer mutuellement en une boucle auto-renforçante. Qui plus est, ces structures de haut niveau altèrent maintenant les probabilités d'activation des fragments de bas niveau, et l'activité thermique, tout en demeurant aléatoire, devient plus orientée. Le système s'installe dans un état stable qui traduit, dans un certain code à usage interne, les faits marquants de l'univers extérieur. Dès qu'il est totalement “satisfait” (ou, dirait Smolensky, “en harmonie”), sa température atteint le point zéro : il “gèle”» (Hofstadter, 1985, tr. fr. 1988, p.690).

Cette valeur (entre 0 et 100) mesure la quantité *et* la qualité des structures construites ainsi que le degré d'aléatoire utilisé dans les prises de décision. Une température “haute”

montre que le système a peu d'informations, il fonctionne alors en explorant aléatoirement le champ des possibles; ce phénomène se produit bien évidemment en début de traitement, mais peut également se produire en fin de traitement si des structures, face à des pressions concurrentes, sont détruites — ce qui a pour effet d'augmenter la température — ou si la réponse n'est pas très satisfaisante par rapport à la compatibilité des structures entre elles. Une température “basse” représente les certitudes du programme quant à la voie suivie pour répondre au problème — les informations sont plus sûres et les décisions sont plus orientées.

Cette fonction mesure la cohérence totale des constructions au fur et à mesure du traitement. Si les évolutions du système vont toutes dans le sens de constructions compatibles entre elles, la température baisse, ce qui entraîne une réduction des chances de construire une structure concurrente. Lorsqu'en revanche une compétition entre structures incompatibles apparaît, une destruction de structure entraîne une élévation de la température, ce qui facilite la ré-orientation du système vers un autre type de perception. La température contrôle ainsi le non déterminisme du départ, pour éviter un paradoxe : on ne peut explorer toutes les possibilités, et on ne peut connaître la meilleure avant de l'avoir explorée. Les codelets sont choisis de façon probabiliste au départ (par conséquent, pas d'exploration exhaustive) mais, en fonction des informations évaluées, la recherche est orientée sans éliminer les autres voies possibles. C'est la température qui sert de lien entre un fonctionnement non déterministe au début de la résolution et un fonctionnement plus déterministe et orienté au fur et à mesure qu'une solution est envisagée (figure 23) :

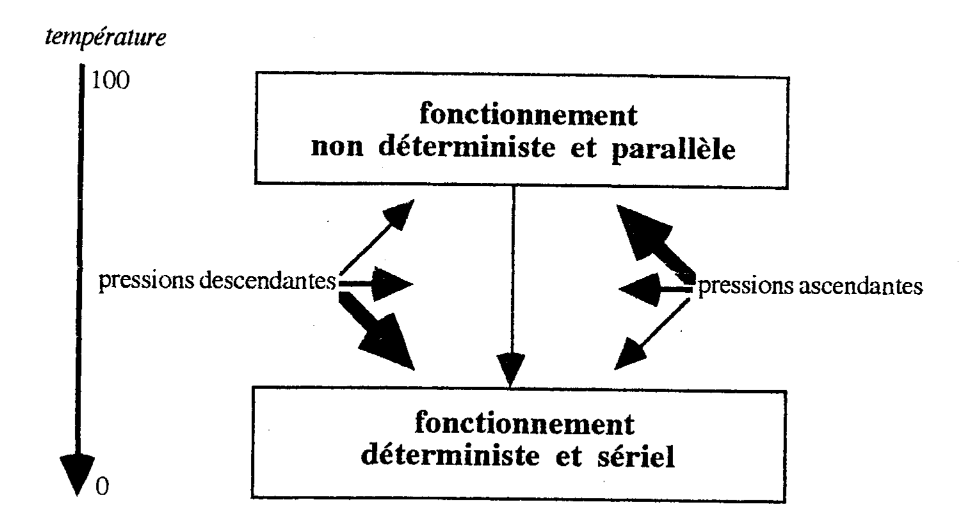


Figure 23. La température permet le passage au sein de la même architecture d'un fonctionnement non déterministe et parallèle à un fonctionnement déterministe et sériel qui produit la solution, en réduisant l'influence des pressions ascendantes et en favorisant l'influence des pressions descendantes au fur et à mesure de la résolution.

Son rôle ne va pas plus loin : elle ne permet pas de stopper le programme sous prétexte qu'elle a une valeur basse; si c'était le cas, le programme pourrait ne jamais donner de réponse car les structures mises en jeu peuvent ne jamais faire appel à des organisations perceptuelles de haut niveau. Le programme stoppe de façon probabiliste lorsque des codelets ayant pour fonction de traduire une règle tentent l'opération.

Le modèle possède donc les caractéristiques défendues par des auteurs comme Hofstadter dans l'élaboration d'une architecture artificielle rendant possible une certaine fluidité par la modélisation d'une perception de haut niveau (Mitchell, 1993) :

• une interaction des modes ascendants (conduits par l'environnement) et descendants (conduits par les concepts) de construction de description perceptive et une transition graduelle de la dominance d'un mode ascendant à la dominance d'un mode descendant;

• une notion d'exploration parallèle en terrasse dans lequel de nombreuses voies différentes d'interprétations de situations sont simultanément explorées, chacune à une vitesse et à une profondeur proportionnelle aux évaluations effectuées pas à pas de l'exploration choisie;

• l'utilisation de la température comme dispositif de *feedback* pour mesurer la quantité et la qualité d'une organisation globale — mesure alors utilisée pour contrôler le degré de l'aspect aléatoire avec lequel des décisions sont prises par le système — dont l'effet est d'accélérer l'exploration des voies les plus prometteuses;

• les activités de bas niveau du système (impliquant des actions mutuellement compétitives et soutenues par un grand nombre d'agents perceptifs indépendants) sont filtrées par un non-déterminisme, produisant un comportement de haut-niveau statistique émergeant, plus déterministe et permettant la création d'analogies par le programme.

Ce modèle permet ainsi la modélisation d'un comportement fluide sur un micro-monde idéalisé, comportement rendu possible par les interactions des éléments de l'architecture qui le compose.

3.4. CONCLUSION : D'UNE MODÉLISATION FLUIDE À UNE THÉORIE PSYCHOLOGIQUE

Vous voyez des choses et vous dites :
"Pourquoi ?"
Mai moi, je rêve à des choses qui n'ont jamais existé et je dis :
"Pourquoi pas ?"
(George Bernard Shaw, *Retour à Mathusalem*)

J'ai vu récemment sur la couverture d'un magazine d'électronique un gros titre claironnant quelque chose à propos de "PUCES QUI VOIENT". Fariboles! Je commencerai à croire aux "puces qui voient" le jour où elles verront des choses qui n'ont jamais existé, et demanderont :
"Pourquoi pas ?"

Douglas Hofstadter, 1982a, tr. fr. 1988, p.220, p.240

Cette petite phrase d'Hofstadter résume sa démarche dans la défense du rôle d'une perception *abstraite* dans la cognition dite de haut niveau. L'idéal serait bien sûr de pouvoir construire un modèle partant du plus bas niveau de la perception et allant jusqu'à une créativité totale (Hofstadter, 1985). Mais réaliser dans un modèle "cognitif" les transformations que subit l'information lorsqu'elle aboutit au cerveau par le biais de la rétine et du nerf optique n'est peut-être pas nécessaire, et il faut se méfier d'une créativité ou d'un comportement anti-sphexien absolu (*cf.* **1.2.**) : nous avons des habitudes cognitives qui font que l'on s'adapte à d'innombrables situations, sans pour autant faire preuve d'une adaptation optimale (qui n'est, elle non plus, pas toujours nécessaire). Pourtant, il faut noter que la démarche hofstadterienne s'éloigne considérablement de certaines habitudes prônées en intelligence artificielle, habitudes pouvant orienter la modélisation cognitive en psychologie vers des impasses théoriques.

Pour ne citer qu'un exemple récent, la victoire de l'ordinateur DEEP BLUE d'IBM sur le champion du monde aux échecs Garry Kasparov indique que la machine *a* ou *va* battre l'homme dans des situations de plus en plus complexes. La question de nature psychologique est cependant toujours présente : le fait-il de la même façon ? En d'autres termes, comment se fait-il qu'il faille un ordinateur surpuissant, ne nécessitant que trois minutes pour évaluer 50 millions de positions, pour battre le champion en titre (Hofstadter, 1996, à paraître b) ? Lorsqu'on compare le micro-monde des échecs à celui de COPYCAT, il semblerait que DEEP BLUE soit un meilleur modèle de l'intelligence

humaine. Pourtant, l'architecture et les mécanismes de COPYCAT le rendent beaucoup plus crédible dans la façon dont l'homme peut s'adapter à son environnement — ce qu'il arrive sans prendre en compte *apriori* 50 millions de possibilités de réponses...

3.4.1. Un modèle adaptatif

Cette architecture permet donc au programme de résoudre les problèmes d'analogies créatives du micro-monde d'une manière fluide, c'est-à-dire sans être dirigé par un algorithme qui le conduirait sans autre possibilité vers une solution et une seule en fonction d'une perception, ni sans évaluer toutes les possibilités avant d'en choisir une sur la base de certains critères. COPYCAT se dirige au départ vers une construction de structures, mais celle-ci peut différer d'une résolution à l'autre, et surtout peut évoluer en cours de résolution vers une solution différente de celle envisagée précédemment. Ainsi, le programme construit la représentation du problème sur lequel il va travailler, et c'est celle-ci qui oriente — de manière non définitive — la recherche d'une solution cohérente.

Une multiplicité de réponses au même problème

Le programme propose par conséquent plusieurs solutions pour chaque problème qu'il résoud, dont certaines peuvent être majoritaires. La figure 24 montre par exemple ses performances sur 1000 présentations du problème "**abc** >> **abd**, **mrrjjj** >> **?**":

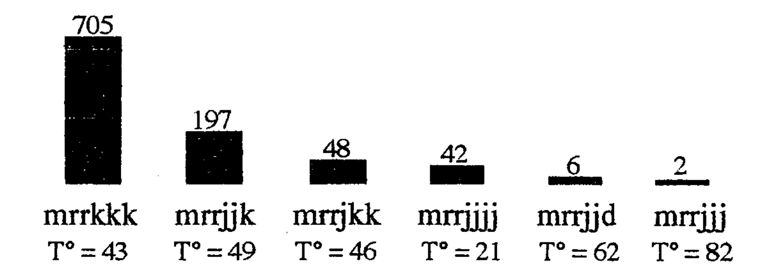


Figure 24. Les solutions données par COPYCAT au problème "**abc** >> **abd**, **mrrjjj** >> **?**" sur 1000 résolutions, avec l'indication de la température finale (T°) pour chaque réponse (d'après Mitchell, 1993).

Les mécanismes postulés

Deux mécanismes sont postulés dans le modèle pour rendre compte de cette flexibilité (Vivicorsi, 1996b) :

• un mécanisme de *perception de haut niveau* est utilisé pour rendre compte de l'encodage du problème à un certain niveau d'abstraction — la chaîne **mrrjjj** peut être perçue comme

une série de lettres (**m-r-r-j-j-j**), comme des groupes de mêmes lettres (**m-rr-jjj**), comme une chaîne de deux ou trois groupes de même nombre de lettres (**mrr-jjj** ou **mr-rj-jj**) —, cet encodage entraînant une recherche orientée de ou des éléments qui vont être sujets à la transformation présentée dans le premier énoncé;

• une *boucle perception-conceptualisation* est utilisée pour rendre compte du mécanisme de résolution proprement dit : percevoir les groupes de mêmes lettres **rr** et **jjj** entraîne de concevoir **m** comme un groupe d'une lettre; concevoir **m** comme un groupe d'une seule lettre entraîne de percevoir **rr** comme un groupe de 2 lettres et **jjj** comme un groupe de 3 lettres; concevoir **jjj** comme un groupe de longueur **3** entraîne de concevoir le groupe **4** (**j**) comme le successeur du groupe **3** (**j**), et de proposer **mrrjjjj** comme solution.

Par conséquent, chaque pas du programme dans la construction de structures est soumis au même mécanisme perceptif qui va orienter l'activation conceptuelle et être orienté en retour. Cette spirale de plus en plus complexe rend le programme imprédictible dans ses réponses, ce qui est impossible à obtenir avec des modèles à représentations fixées d'avance et non modifiables (Hofstadter & Mitchell, 1994).

En fait, COPYCAT est un programme *adaptatif* dans le sens où il a simplement la possibilité de se représenter le problème qu'il doit résoudre, comme nous en avons nous-mêmes la possibilité.

Il est vrai que des habitudes s'installent dans notre façon de prendre connaissance du monde et de le percevoir (*cf.* **1.2.1.**), mais le programme lui aussi considère des réponses “évidentes” (comme **mrrkkk**, donnée dans plus de 70% des cas) et des réponses plus créatives (comme **mrrjjjj**, avec une température plus basse de 21). La souplesse adaptative du programme milite fortement contre une modélisation restrictive de la cognition qui ne prendrait pas en compte les interactions entre perception et cognition (Kokinov, 1998).

Perception et cognition

Le projet concrétise ainsi la phrase de Kant (cité dans Chalmers *et al.*, 1992, p.210) : «les concepts sans les percepts sont vides, les percepts sans les concepts sont aveugles» — *i.e.*, ne pas considérer le rôle de la perception empêche la construction d'une représentation, mais une représentation est adaptée au contexte grâce au rôle joué par la conceptualisation. Selon Hofstadter (1993a; Holyoak & Thagard, 1995), une véritable modélisation de cette interaction permettant une fluidité conceptuelle n'avait jamais été entreprise.

Le principal intérêt du projet se place d'ailleurs dans cette tentative de modéliser l'interaction proprement dite entre perception et cognition, fondamentale dans l'étude du raisonnement par analogie (Holyoak & Barnden, 1994; voir aussi, pour une généralisation à d'autres activités, Goldstone & Barsalou, 1998). La mise en garde lancée Chalmers *et al.* (1992) sur le biais inhérent à des modèles opérant sur des représentations pré-codées fut ainsi considérée, malgré une absence d'application dans le cadre des modélisations elles-mêmes. En fait, un débat anime depuis 1992 les chercheurs concernés par le domaine de l'analogie ou de la catégorisation à propos de la bonne marche à suivre pour l'étude des processus impliqués dans ce type d'activité cognitive.

Selon le premier point de vue, la perception ne peut être séparée de la cognition (Chalmers *et al.*, 1992; Mitchell, 1993; Hofstadter & the FARG, 1995), notamment si l'on attribue un rôle prépondérant à l'élaboration de la représentation sur laquelle l'individu opère.
Selon le second point de vue, une séparation *de principe* peut exister dans la mesure où l'on étudie le mécanisme analogique indépendamment du contenu sur lequel il opère (Gentner, 1989), c'est-à-dire une fois que les représentations sont figées pour être mises en correspondance. Cette seconde position ne reste pourtant pas "de principe" dès lors qu'on généralise une théorie *volontairement* simplificatrice à une théorie psychologique *non réduite*, validée par des données expérimentales obtenues dans des tâches qui orientent les sujets, et simulée par des modèles qui ne peuvent faire autrement qu'apparier ce qui "doit être" apparié.
Ainsi, bien que l'on puisse penser que les deux positions peuvent co-exister car elles ne s'occupent pas du même objet d'étude (Morrison & Dietrich, 1995), ignorer l'élaboration des représentations limite considérablement toute tentative de constituer une théorie psychologique satisfaisante (Desai, 1997; Thomas & Mareschal, 1997; Vivicorsi, à paraître).

Gentner l'a récemment bien exprimé, lorsqu'elle répond avec ses collègues (Forbus, Gentner, Markman & Ferguson, sous presse) à la mise en garde de Chalmers *et al.* (1992). Forbus *et al.* (sous presse) reprennent ainsi à leur titre le rôle central que joue l'interaction entre perception et cognition, et soulignent que leur démarche est *la seule* qui soit compatible avec cette exigence. La figure 25 résume leur position.
Plus précisément, selon ces auteurs, SME représenterait le modèle le plus performant car (1) il ne dépend d'aucune implémentation particulière, et (2) les représentations peuvent être construites par un autre système. En d'autres termes, le point (1) implique que les mécanismes sous-jacents à l'appariement *n'ont aucune importance*, le point (2) souligne l'adhésion à une démarche modulaire (Fodor, 1983) qui permet une *séparation des*

pouvoirs sans avoir à postuler des interactions entre modules — qui sont, par définition, indépendants.

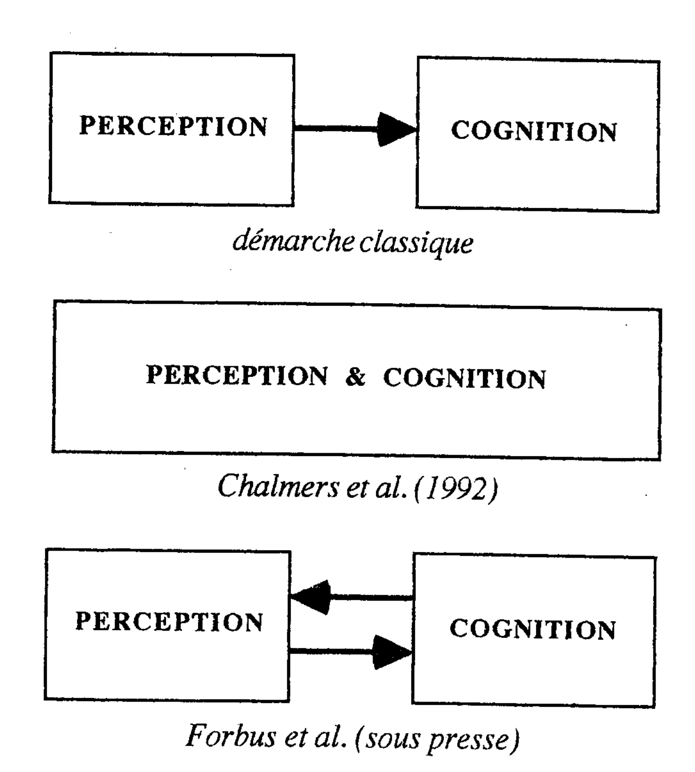


Figure 25. Les différentes approches traitant du problème de l'interaction entre perception et cognition (d'après Forbus *et al.*, sous presse).

Ce choix théorique, que nous avons déjà critiqué (Vivicorsi, à paraître), autorise à ne s'occuper que d'un module à la fois, et que l'interaction entre les modules "perception" et "cognition" s'étudie par les effets de l'un sur l'autre. Mais COPYCAT reflète une interaction plus subtile : l'activité du niveau perceptif peut influencer l'activité du niveau cognitif, et vice versa, au sein d'un processus dynamique et complexe. Dans une démarche modulaire, des changements peuvent se produire dans un des modules, mais c'est la sortie d'un module qui modifie le traitement dans l'autre — en un mot, il n'y a pas d'interaction entre perception et cognition. De plus, que l'on puisse étudier indépendamment les *effets* de l'un sur l'autre ne signifie en aucun cas qu'ils *procèdent* indépendamment l'un de l'autre.

De COPYCAT à METACAT

Malgré sa démarche innovante, COPYCAT est cependant incomplet dans le sens où chaque réponse produite n'affecte pas la résolution suivante du même problème : il n'a pas de mémoire, et ne peut donc apprendre.

Le projet METACAT (Hofstadter, 1993a) a pour objectif d'améliorer le programme, en permettant une évaluation des réponses qu'il produit et une mémorisation de celles qu'il "juge" pertinentes. Plus précisément (voir Marshall, 1997; Marshall & Hofstadter, 1998), le programme doit être capable de comparer des réponses et d'apporter une explication, même limitée, des forces et faiblesses des réponses entre elles.
Par exemple, bien que COPYCAT juge indirectement la réponse **mrrjjjj** meilleure en raison de sa faible température, il n'est pas capable d'indiquer pourquoi elle l'est. Pour sa part, METACAT peut caractériser une réponse de manière plus riche, en tenant compte du fait que la finesse de la réponse **mrrjjjj** dépend de la perception de **abc** et de **mrrjjj** comme des *groupes successeurs*, le premier basé sur l'idée de catégories de lettre, le second sur l'idée de longueur de groupes.
En comparant les réponses, le programme effectue des méta-analogies et rassemble des types de réponses à l'aide de *thèmes* inclus dans le réseau glissant. Ces thèmes sont alors activés ou inhibés (de -100 à +100) selon que les descriptions des éléments et des structures du nouveau problème sont ou non caractérisés de la même façon. De plus, cette comparaison peut intervenir au sein d'une résolution par le rappel de réponses mémorisées précédemment, et peut ainsi orienter le programme dans sa recherche d'une solution. Enfin, le programme peut accéder en cours de résolution à une évaluation de son cheminement (la *trace*) dans la découverte d'une nouvelle solution. Cette trace, qui enregistre les événements importants comme les constructions de structures, enregistre en même temps les caractéristiques thématiques du moment. Le programme peut ainsi non seulement s'apercevoir des impasses dans lesquelles il est déjà tombé[50], mais plus simplement s'apercevoir qu'il est en train d'effectuer la même opération que précédemment, et utiliser les thèmes pour se tirer d'embarras. Il peut aussi expliciter "en ses termes" des réponses qui lui sont fournies mais qu'il n'a pas produites lui-même.
Ces capacités devraient permettre à METACAT la production de réponses que COPYCAT ne pouvait pas donner en raison de ses connaissances réduites. La possibilité d'évaluer des réponses donne aussi au programme une certaine forme de conscience, nécessaire à l'élaboration d'un modèle réellement créatif.

3.4.2. Un modèle psychologique ?

COPYCAT représente ainsi un modèle de la fluidité conceptuelle qui mérite *à ce titre* l'intérêt que pourraient lui porter les chercheurs en psychologie. Pourtant, il reste marginal dans toutes les études psychologiques sur le raisonnement par analogie, à cause

[50] Par exemple, le problème "**abc** >> **abd**, **xyz** >> ?" est un problème qui conduit à une impasse si le programme se focalise sur **xyz** comme *groupe successeur* et qu'il apparie **c** et **z** : il cherche alors le *successeur* de **z** qui n'existe pas dans le micro-monde.

du domaine dans lequel il évolue : en effet, le micro-monde de COPYCAT n'est pas considéré comme réaliste.

Le faux obstacle du micro-monde

Les expériences que nous avons réalisées en DEA (Vivicorsi, 1996b) indiquent clairement que la fluidité des sujets peut apparaître dans ce micro-monde, jusqu'à obtenir 18 réponses sur 20 différentes pour le même problème. Ces expériences avaient pour objectif de tester la richesse de ces problèmes d'analogies créatives[51] sous deux conditions : la moitié des sujets produisaient une réponse par problème, l'autre moitié des sujets choisissait une réponse parmi quatre pour chacun des mêmes problèmes.
En plus du fait que la simplification du monde permet une comparaison plus fiable du comportement des sujets (*cf.* **2.3.1.**), nous voudrions insister sur la créativité potentielle dont font preuve les sujets grâce à la grande richesse des constructions possibles dans ce micro-monde. Au problème "**rrccmmkppbb** >> **k**, **ljoooosrezv** >> **?**", par exemple, une réponse possible est **ljsrezv**, en considérant que seules les lettres qui sont représentées une seule fois sont conservées; **o** est une autre réponse possible, en considérant l'aspect caractéristique de cette lettre (la seule représentée plusieurs fois, comme **k** était la seule lettre représentée qu'une seule fois); mais répondre **l** montre une adaptation particulièrement subtile pour résoudre le problème de façon cohérente : la chaîne **rrccmmkppbb** est perçue comme une suite de 11 lettres, qui donne **k** (la 11ème lettre de l'alphabet); le **l** qu'a donné un sujet correspond alors au même type de réponse, en considérant **ljoooosrezv** comme une suite de 12 lettres...
Le choix d'un tel micro-monde s'avère donc psychologiquement intéressant, puisqu'il exhibe une fluidité non prévisible et que le comportement des sujets n'a pas à être réduit "grâce" à la pauvreté sémantique des problèmes. Pour autant, une telle évaluation du micro-monde était nécessaire, les expériences évoquées dans Mitchell (1993) ne permettant pas d'évaluer sa pertinence : les sujets répondaient dans le cadre d'une interview les réponses qui leur semblaient satisfaisantes, en essayant de respecter les connaissances limitées du modèle. En conséquence, *l'absence d'expérimentation et elle seule peut expliquer la marginalité du modèle.*

L'évaluation de la température

Bruce Burns (Burns & Schreiner, 1992; Burns & Holyoak, 1994a, 1994b; Burns, 1996), bien qu'il ait aussi limité le champ des possibles, a élaboré plusieurs expériences en vue

[51] Nous avons utilisé les 53 problèmes présentés dans Mitchell (1993), bien que certains ne pouvaient être résolus par COPYCAT — l'objectif étant uniquement d'évaluer la pertinence du micro-monde.

d'évaluer psychologiquement le modèle. Burns & Holyoak (1994a; 1994b) évaluent d'abord le rôle de la température dans sa fonction évaluative des réponses. Ils comparent ensuite les prédictions de COPYCAT aux prédictions d'ACME (*cf*.**2.2.1.**) conçu pour opérer sur le micro-monde. Mais cette tentative d'évaluation du modèle est problématique à plus d'un titre.

La première critique est qu'ils comparent les réponses du modèle aux réponses des sujets, alors que le programme doit être compris comme le modèle d'un sujet avec ses propres biais (Mitchell, 1993). Ils considèrent qu'il est possible de le considérer comme un modèle d'un *groupe* de sujets avec ses propres biais — ce qui leur permet de comparer les réponses du modèle à celles des sujets sur les problèmes "**abc** >> **abd, kji** >> **?**" et "**abc** >> **abd, mrrjjj** >> **?**"...
La seconde critique concerne leur évaluation de la température : nous avons vu que la température mesure la qualité d'une réponse, mais qu'elle ne concerne pas directement la fréquence de cette réponse (par exemple, la réponse **mrrjjjj** est meilleure que les autres au même problème, mais ne correspond qu'à environ 5% des réponses du programme — *cf.* figure 24). Pourtant, Burns et Holyoak (1994a) postulent alors que si les sujets sont sensibles à la température, ils donneront plus souvent des réponses à faible température...
Enfin, la procédure employée *annule* une évaluation pertinente de cette fonction qui n'a de sens qu'à l'intérieur d'un processus dynamique de résolution : en effet, les sujets devaient noter des réponses qu'on leur donnait — ce qui permet de faire l'hypothèse suivante : les sujets non sensibles à la température préféreront les réponses qui sont les plus faciles à élaborer.

Nous revenons aux critiques que nous avons formulées à l'encontre des expériences sur la catégorisation (*cf.* **2.1.**), dans lesquelles les sujets répondent à la question posée : ici, la question concerne un jugement, et non une élaboration de réponse comme le fait COPYCAT et dans laquelle la température *a un sens*. D'ailleurs, comme le remarquent justement Burns et Holyoak (1994a), dans cette tâche, la réponse **kjd** est souvent préférée, contrairement au cas où les sujets avaient à *produire* la réponse (Burns & Schreiner, 1992).

Une comparaison des performances entre ACME et COPYCAT

La troisième et dernière critique concerne la place du modèle au sein des autres modèles : COPYCAT élabore les représentations sur lesquelles il opère, mais non les autres modèles (*cf.* **2.2.**). Une comparaison entre ACME et COPYCAT est alors problématique[52].
La procédure mise en œuvre par Burns et Holyoak (1994a, b) — mais qui n'évalue *en rien* les mécanismes de COPYCAT — consiste à comparer les performances des deux modèles, et en conclure que si l'un des deux (ACME) est plus général, puisqu'il peut s'appliquer à des domaines "sémantiques" plus vastes, l'autre (COPYCAT) doit alors être utilisé comme moyen pour rendre plus réaliste l'architecture d'ACME[53]. C'est ce qui se produit, dans la mesure où ACME aboutit relativement aux mêmes performances que COPYCAT, avec néanmoins un problème qui nous est maintenant familier : les représentations sur lesquelles le modèle opère sont pré-codées...

Dans ces différentes évaluations du modèle, COPYCAT est destitué de l'avantage qui faisait de lui un modèle fluide : en effet, les mécanismes par lesquels il aboutit à telle ou telle réponse ne sont pas explorés. Nous avons donc choisi cette voie pour évaluer la pertinence *psychologique* du modèle, dans notre projet intitulé COPSYCAT.

---

[52] Elle est problématique dans la mesure où ce sont les architectures cognitives qu'il faut comparer, *i.e.* la façon dont un programme aboutit à une solution. C'est beaucoup plus facile dès lors qu'on considère, comme le font Burns et Holyoak (1994a), que la question de savoir si l'architecture est réalisée de façon probabiliste ou déterministe est *sans importance* en matière d'évaluation de modèles de raisonnement par analogies.
[53] Cette conclusion n'est pas sans rappeler la conclusion de Fodor & Pylyshyn (1988) sur la place du connexionnisme (*cf.* Vivicorsi, à paraître) : Burns (1994, p.535) indique d'ailleurs qu'«ajouter un générateur de nombres aléatoires à ACME constituerait un développement théorique majeur».

4. MISE À L'ÉPREUVE EXPÉRIMENTALE : LE PROJET COPSYCAT

L'esprit, même l'esprit du songeur, a des habitudes...

Victor Hugo, 1864, 1993, pp.7-8

Le projet COPSYCAT (Vivicorsi, 1998b) a pour objectif d'évaluer la pertinence psychologique des mécanismes intégrés au programme, *i.e.* : un processus de perception de haut niveau, ou de perception abstraite, et une boucle perception-conceptualisation.

En effet, les critiques formulées concernant les expérimentations et les modèles liés à l'étude de la fluidité conceptuelle nous semblent suffisantes pour considérer les avantages que représente le modèle COPYCAT comme prometteurs dans l'explication des processus exhibant cette fluidité. Or, une évaluation du modèle *prenant en compte son fonctionnement intrinsèque* n'a jamais été effectuée. Nous avons donc élaboré une expérience sur le micro-monde de COPYCAT permettant une grande liberté de résolution de la part des sujets dans le but de pouvoir rendre compte des résolutions effectives par les mécanismes postulés. Nous prenons ainsi actes des critères que nous avons avancés quant à l'étude expérimentale de la fluidité conceptuelle et quant à l'évaluation d'un modèle censé en rendre compte.
Nous voulons donc montrer que d'une part, les sujets fournissent différents types de réponses en fonction des analogies qu'ils perçoivent dans les énoncés des problèmes (perception de haut niveau), et que, d'autre part, cette perception couplée à la forme de réponse qu'ils produisent entraîne un jugement orienté des solutions possibles qu'on leur demande d'évaluer pour le même problème (boucle perception-conceptualisation).

Les comportements obtenus dans notre expérience sont explicables en termes de perception de haut niveau et de boucle perception-conceptualisation. Nous défendons alors que ces mécanismes ne sont pas spécifiques au micro-monde dans lequel ils apparaissent : en effet, les sujets bénéficiaient d'une liberté maximale dans le choix des réponses qu'ils produisent et des propositions de solutions qu'ils évaluent. En conséquence, les processus mis en œuvre doivent refléter une activité cognitive de même ordre que lorsque nous sommes confrontés à des problèmes "écologiques", dans lesquels plusieurs bonnes réponses sont possibles en fonction de la perception de la situation et du but recherché.

4.1. OBJECTIFS

> En m'honorant, vous honorez la pensée animale. Je ne fais pas d'humour, encore moins de modestie. Ce n'est pas non plus, hélas, que mes observations m'aient donné des preuves bien flagrantes de cette intelligence, sinon que, entrant dans le jeu de l'animal et renonçant à lui poser des colles en termes de combinaisons, j'ai le plus souvent été battu.
>
> Robert Hainard, 1969, 1986, p. 19

Nous allons décrire les objectifs du projet et les moyens que nous nous sommes donnés pour les atteindre.

4.1.1. La pertinence psychologique des mécanismes postulés

Evaluer la pertinence des mécanismes postulés dans le programme COPYCAT consiste à évaluer des mécanismes susceptibles de rendre compte de la fluidité conceptuelle.
En effet, la perception de haut niveau et la boucle perception-conceptualisation sont des mécanismes qui permettent au programme d'exhiber un comportement fluide, glissant, c'est-à-dire capable de produire des réponses différentes aux mêmes problèmes.

Nous devons donc utiliser une tâche dans laquelle la fluidité conceptuelle peut apparaître et permettre un parcours de résolution différent pour chaque sujet. Dans ce cas, nous devons pouvoir expliquer les résultats par le biais des mécanismes dont nous faisons l'hypothèse. Si les résultats peuvent être ainsi expliqués malgré une variabilité individuelle sauvegardée par la tâche proposée, nous pouvons alors défendre une généralisation des mécanismes de perception de haut niveau et de boucle perception-conceptualisation hors des frontières du micro-monde considéré.

4.1.2. Résolution de problèmes d'analogies créatives et évaluations de solutions proposées

Nous avons choisi le micro-monde de COPYCAT déjà évalué comme permettant de faire apparaître la fluidité conceptuelle.
Les sujets doivent résoudre des problèmes d'analogies créatives conçus sur ce micro-monde comme ceux que nous avons présentés en **3.3.1.**. Nous avons pris 10 problèmes proches des problèmes présentés dans Mitchell (1993) et constitué un ensemble de

solutions à ces problèmes. Dans un premier temps, les sujets doivent résoudre ces problèmes, *i.e.* fournir une réponse au problème présenté. Dans un second temps, ils doivent évaluer 12 propositions de solutions à ces problèmes.

Toutes les solutions présentées peuvent être acceptables, bien qu'elles ne le soient pas toutes de la même façon. En effet, certaines d'entre elles sont difficiles à justifier comme étant des réponses spontanées : prenons par exemple le problème **aabc** >> **aabd**, **ijkk** >> **?**. Répondre **jjkk** peut être facilement justifié par le fait que "la lettre non doublée à une extrêmité devient son successeur"; en revanche, répondre **jkkk**, réponse pouvant difficilement être justifiée par le fait que "si les lettres doublées précèdent les lettres non doublées, la dernière lettre devient son successeur, chaque lettre non doublée devient son successeur si ce n'est pas le cas", constitue — même si la réponse est possible — un cas où l'on peut se demander si le sujet considèrerait cette réponse comme une bonne réponse, ou s'il la considèrerait comme "vrai" de façon arbitraire.
Nous avons ainsi décomposé les solutions que nous demandons aux sujets d'évaluer sous la forme de deux ensembles de propositions : le premier possède les propositions que l'on estime facilement justifiables (propositions V), le second celles qui ne le sont pas (propositions F). Ces ensembles contiennent chacun 50% des propositions, en évitant toutefois le fait que chaque problème ait 50% de propositions V et F — ce qui éloigne le risque que les sujets appliquent une stratégie orientée sur la possibilité qu'à chaque problème, la tâche est de trouver un nombre constant de propositions "correctes".
La justification de l'acceptabilité plus ou moins importante des propositions a été conçue sur la base des interviews de sujets obtenues par Mitchell (1993) et de nos propres résultats (Vivicorsi, 1996b) concernant le choix des réponses codées V. Nous avons alors imaginé d'autres réponses non fournies par les différents sujets de ces études pour élaborer celles de l'ensemble F.

Nous voulons ainsi pouvoir mettre en évidence que le choix des solutions qu'ils vont trouver acceptables n'est pas un choix arbitraire, mais qu'il est conditionné à une certaine perception abstraite des problèmes.
Nous pouvons alors préciser en quoi la réponse qu'ils fournissent au problème avant les évaluations va orienter l'acceptation de certaines des propositions.

Evaluation du mécanisme de perception de haut niveau : la théorie de la détection du signal

La théorie de la détection du signal (TDS) nous permet de savoir si les sujets acceptent plusieurs solutions de façon aléatoire ou pas (voir Swets, Tanner & Birdsall, 1961; Coombs, Dawes & Tversky, 1970; Massaro, 1989c; Falmagne, 1994). En effet, ce cadre

d'analyse précise, lorsque des sujets sont confrontés à des choix, les conditions de ce choix : font-ils une dichotomie entre ce qu'ils considèrent comme étant une solution et ce qu'il ne l'est pas, et choisissent-ils un critère de décision centré sur “ce choix est bon” ou sur “ce choix n'est pas bon” ? En d'autres termes, la TDS permet de rendre compte de deux aspects confondus dans une tâche d'évaluation : le sujet en tant qu'observateur et le sujet en tant qu'agent de décision (Tiberghien, 1984; Swets, 1986a, b).

Un protocole dans le cadre de la TDS est présenté dans la figure 26 :

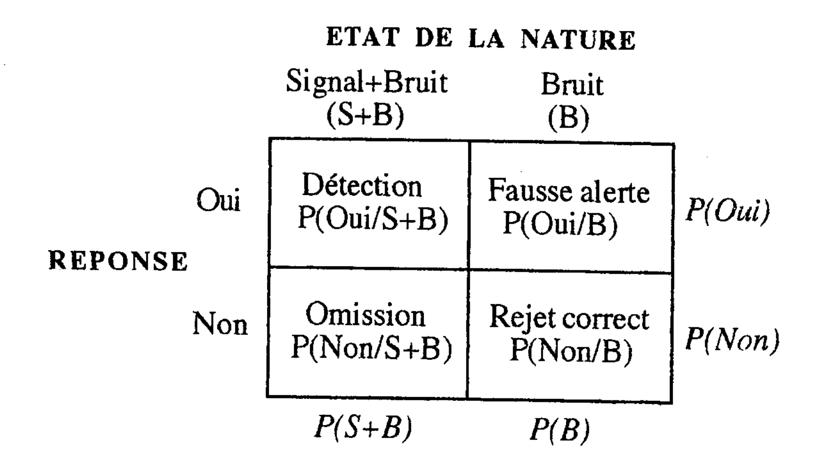


Figure 26. Présentation théorique d'un protocole dans le cadre d'analyse de la TDS.

C'est à partir d'un tel protocole que deux indices peuvent être calculés, **d'** (indice de discrimination) et β (indice de décision). Dans le cadre de notre recherche, un protocole et la signification des indices sont présentés en figure 27 :

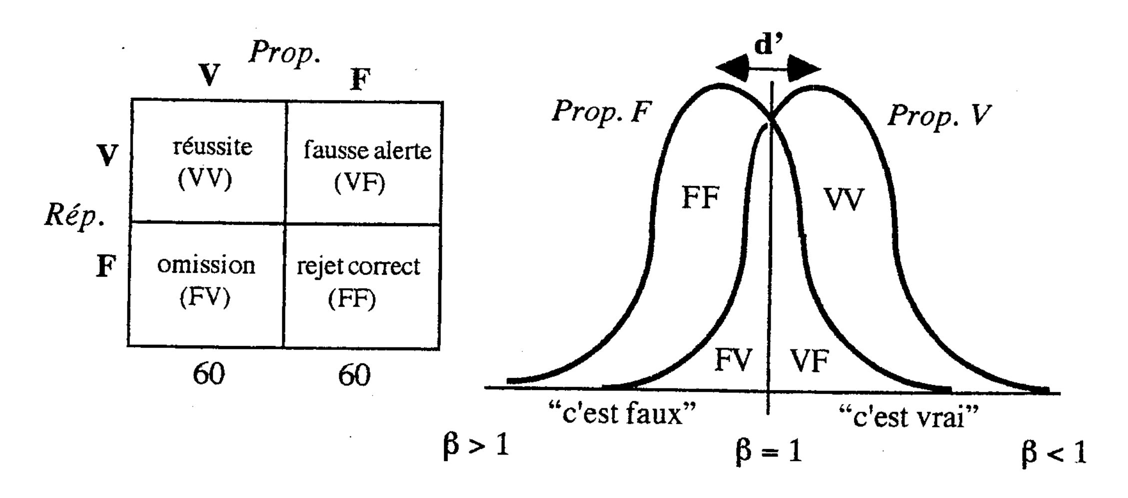


Figure 27. Présentation d'un protocole et description des indices **d'** et β dans le cadre d'analyse de la TDS adapté à notre recherche.

Plus précisément, l'indice **d '** mesure la discrimination que les sujets font entre l'ensemble de propositions V et l'ensemble de propositions F. Plus **d'** est grand, plus la discrimination est forte — *i.e.*, les sujets font la distinction entre les propositions que l'expérimentateur a évalué comme V et les propositions que l'expérimentateur a évalué comme F; si **d '** est égal à 0, les deux ensembles de propositions sont confondus — *i.e.*, le sujet ne fait aucune discrimination sur la distinction V/F opérée par l'expérimentateur. L'indice **β** évalue le critère de décision pris en compte par le sujet lorsqu'il donne sa réponse à l'évaluation de la proposition présentée. Si **β** est supérieur à 1, le sujet favorise le caractère "faux" de la proposition — *i.e.*, il répondrait à la question "est-ce que cette proposition est fausse ?"; si **β** est inférieur à 1, le sujet favorise le caractère "vrai" de la proposition — *i.e.*, il répondrait à la question "est-ce que cette proposition est vraie ?"; si **β** est égal à 1, le sujet ne favorise ni le caractère "faux", ni le caractère "vrai" que peut avoir une proposition pour prendre sa décision.

Nous pouvons alors conclure sur la façon dont les sujets sélectionnent les propositions qu'ils jugent acceptables.

Evaluation du mécanisme de boucle perception-conceptualisation : les implications d'une réponse sur le choix des propositions

Montrer que les sujets n'acceptent pas n'importe quelle solution n'est pas suffisant. Nous devons également montrer que certaines réponses produites par les sujets impliquent une évaluation de certaines propositions comme acceptables.

L'objectif de départ était de montrer les implications d'une évaluation sur l'autre dans le comportement séquentiel d'un sujet; en d'autres termes, suivre son cheminement et mettre en évidence l'influence d'un choix sur l'autre *tout au long de la tâche*. Il nous a fallu renoncer partiellement à ce pistage : nous n'avons pu trouver de méthode d'analyse respectant le parcours précis propre à chaque sujet.
L'analyse implicative bayésienne ou AIB (Bernard & Charron, 1996a, b; Bernard, 1998) reste la plus pertinente, mais demeure encore réduite aux influences d'un choix d'une proposition évaluée comme "vrai" ou "faux" sur le choix d'une autre proposition, ceci *indépendamment du parcours de résolution.*

Nous avons donc limité pour un temps nos ambitions. Mais sans avoir une analyse définitive des protocoles, il est néanmoins possible d'observer les influences d'une production de réponse sur les propositions alors évaluées "vrai" ou "faux" en fonction de

cette réponse, et présenter un protocole individuel complet qu'il nous faut alors expliquer par les mécanismes dont nous faisons les hypothèses.

4.1.3. Manipulation de la fluidité conceptuelle

Trois facteurs expérimentaux ont été utilisés pour faire varier la possibilité de glisser d'une réponse à l'autre. Ces trois facteurs ont plus pécisément été choisi en raison de l'influence qu'ils peuvent avoir sur l'adoption de la part des sujets d'une stratégie de résolution qui va limiter le nombre de propositions évaluées acceptables.

Le rappel (**R**) : la moitié des sujets avaient, avant chaque évaluation à faire, un rappel de l'énoncé du problème auquel correspond la proposition à évaluer (*Avec Rappel* — conditions **1**--). L'autre moitié n'avait aucun rappel (*Sans Rappel* — conditions **2**--).
Nous pensons que lorsque les sujets donnent leur réponse au problème présenté, et qu'ils doivent ensuite évaluer d'autres solutions possibles, le fait de voir réapparaître l'énoncé du problème va les encourager à simplement vérifier la pertinence de leur réponse et à accepter des solutions similaires, voire les réponses qu'ils ont produites uniquement.
En revanche, lorsqu'ils n'ont pas de rappel de l'énoncé, nous pensons que les sujets sont alors plus enclins à évaluer véritablement chaque solution proposée, donc à en accepter certaines pouvant s'éloigner de leur production.

Les exemples (**E**) : la moitié des sujets devaient, avant les dix problèmes, résoudre trois exemples similaires et ordonnés. Pour eux, l'expérience avait déjà commencé, ces problèmes n'étant pas présentés comme un entraînement (*Avec Exemples* — conditions -**1**-). L'autre moitié n'avait aucun exemple (*Sans Exemples* — conditions -**2**-).
Nous pensons que les sujets devant résoudre les trois exemples, très similaires, peuvent adopter une stratégie de résolution qui peut ensuite être utilisée pour résoudre les autres problèmes. Ils peuvent alors se focaliser sur une telle stratégie de résolution sous réserve qu'elle soit efficace, rendant ainsi moins probables l'acceptation de solutions qui ne seraient pas élaborées à partir d'une telle stratégie.
En revanche, les sujets ne résolvant que 10 problèmes sont selon nous plus enclins à considérer les problèmes comme indépendants et donc moins enclins à adopter une stratégie globale de résolution, ce qui peut avoir pour conséquence d'augmenter le nombre de propositions évaluées "vrai".

L'ordre (**O**) : la moitié des sujets avait un ordre croissant de difficulté dans la présentation des problèmes (*Avec Ordre* — conditions **--1**). L'autre moitié avait une présentation aléatoire des problèmes (*Sans Ordre* — conditions **--2**).

Nous pensons que les sujets auxquels les problèmes sont présentés dans un ordre croissant de difficulté — *i.e.*, les problèmes ont de moins en moins de solutions apparentes — peuvent adopter une stratégie s'avérant efficace sur un certain nombre de problèmes. Dans ce cas, ils vont avoir tendance à utiliser une stratégie "rentable" le plus longtemps possible, et ne changerons que lorsque leur stratégie ne fonctionne plus.

En revanche, les sujets auxquels les problèmes sont présentés dans un ordre aléatoire ne peuvent élaborer de stratégies durablement efficaces. Nous pensons alors qu'ils auront plus de chance de percevoir d'autres types de résolution leur permettant d'accepter un plus grand nombre de solutions.

La combinaison de ces trois facteurs nous donne 8 conditions expérimentales, chacune d'entre elles étant soumises à 10 sujets (plan d'expérience : $\underline{S}_{10} < R_2 * E_2 * O_2 >$) :

— condition **111** (sujets 1-10) : *Avec Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
— condition **112** (sujets 11-20) : *Avec Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
— condition **121** (sujets 21-30) : *Avec Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
— condition **122** (sujets 31-40) : *Avec Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*
— condition **211** (sujets 41-50) : *Sans Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
— condition **212** (sujets 51-60) : *Sans Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
— condition **221** (sujets 61-70) : *Sans Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
— condition **222** (sujets 71-80) : *Sans Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*

Nous pensons que l'ordre dans lequel sont énumérées ces conditions représente un continuum de "glissabilité" : dans la condition **111**, l'acceptation d'une multiplicité de réponses est la moins favorisée, tandis que dans la condition **222**, les sujets ont le minimum d'informations leur permettant d'adopter une stratégie de résolution.

4.2. HYPOTHÈSES

Les hypothèses théoriques concernent l'évaluation psychologique des mécanismes de perception de haut niveau et de boucle perception-conceptualisation.

4.2.1. La perception de haut niveau

La perception de haut niveau nous permet de percevoir des situations, des événements ou des objets à différents niveaux d'abstraction. L'avantage de ce processus est qu'il autorise une réduction de l'information pertinente au sein du phénomène que l'on doit traiter. Dans le micro-monde des lettres, cette perception abstraite apparaît dès lors que les sujets ne considèrent pas toutes les réponses comme vraies, alors que toutes sont possibles.
En effet, toutes les propositions peuvent être évaluées "vrai" avec plus ou moins de facilité. Les réponses peuvent en conséquence être produites selon ce qui est perçu comme pertinent dans la transformation du premier terme au second terme de l'énoncé (*e.g.*, **lmn** >> **lmo**) et de ce qui va être utilisé dans la transformation du troisième terme au quatrième terme (*e.g.*, **kji** >> **kjj**).

Prenons deux exemples liés à ce problème :

(1) **lmn** >> **lmo**, **kji** >> **kjj**

Dans cette réponse, la règle appliquée peut être la suivante : "la dernière lettre devient son successeur". Pour appliquer cette règle, **lmn** et **kji** doivent être perçus comme des suites de lettres **l-m-n** et **k-j-i** dans lesquelles, quelles que soient les deux premières lettres, c'est la troisième qui subit la transformation. Appliquer une transformation à ce niveau, c'est rechercher dans la suite de lettres présentée la lettre qui va subir la transformation.

(2) **lmn** >> **lmo**, **kji** >> **lji**

Dans cette réponse, la règle appliquée peut être la suivante : "la dernière lettre dans le sens de l'alphabet devient son successeur". Pour appliquer cette règle, **lmn** et **kji** doivent être perçus comme des suites de lettres **l->m->n** et **k<-j<-i** dans lesquelles le sens de l'alphabet a une importance dans la recherche de la dernière lettre alphabétique de la suite. Appliquer une transformation à ce niveau, c'est rechercher dans la suite de lettres présentée la dernière lettre dans un sens alphabétique qui va subir la transformation.
La perception de ces énoncés à différents niveaux d'abstraction entraîne que, bien que l'on puisse trouver plusieurs solutions à un problème, certaines vont être hors de portée car le niveau d'abstraction auxquelles elles sont possibles n'est pas perçu.

Dans le cadre de la TDS, les sujets vont devoir se différencier de deux protocoles qui exprimeraient des comportements différents à nos hypothèses. Ces deux types de protocoles extrêmes (intitulés **M**achine et **H**asard) sont représentés dans la figure 28 :

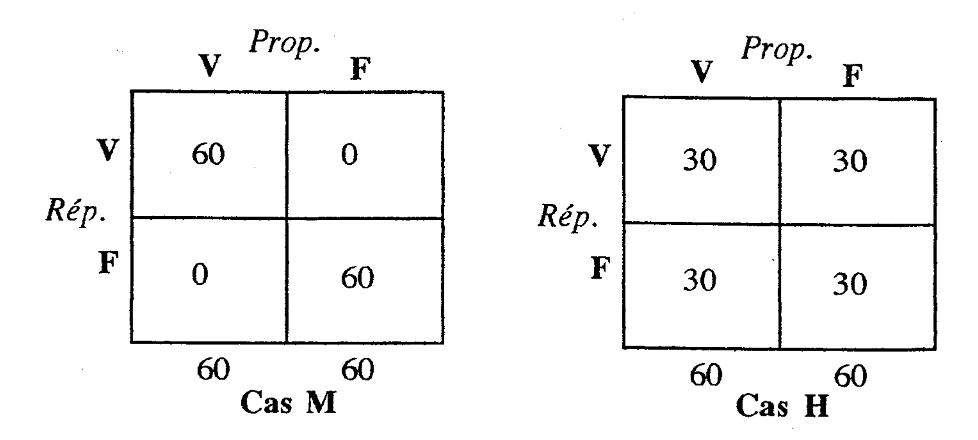
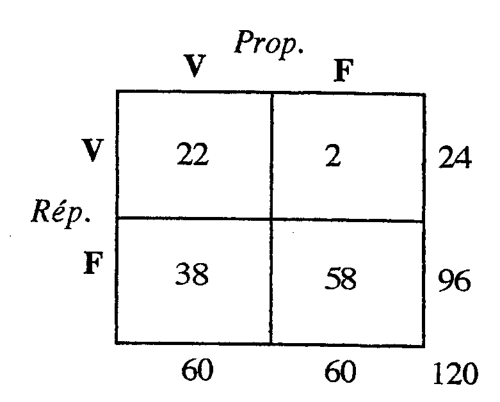


Figure 28. Deux comportements extrêmes peuvent être représentés dans le cadre de la TDS. Le cas **M** : un comportement sans erreur (comme une machine) eu égard à la dichotomie V/F effectuée par l'expérimentateur; dans ce cas, toutes les propositions V sont évaluées "vrai", toutes les propositions F sont évaluées "faux", et les indices sont **d'** = 6,18 (en fait, **d'** —> + ∞) et **β** = 1. Le cas **H** : un comportement aléatoire (comme par le fait du hasard) eu égard à la dichotomie V/F effectuée par l'expérimentateur; dans ce cas, la moitié des propositions sont évaluées "vrai", l'autre moitié des propositions sont évaluées "faux" (le protocole qui correspond à ce cas dans la figure est *un* des protocoles possibles qui vérifie ce cas), et les indices sont **d'** = 0 et β = 1.

Les sujets ne doivent correspondre à aucun de ces cas. En effet, un comportement relatif au cas **M** indiquerait que les ensembles sont trop différents pour que les sujets aient à décider si telle proposition peut être considérée comme une solution. En d'autres termes, la tâche ne serait qu'une tâche de *reconnaissance*, et non une tâche d'évaluation proprement dite. Un comportement relatif au cas **H**, quant à lui, indiquerait que les sujets se rendent compte que toutes les réponses peuvent être acceptées; aussi, ils leur suffirait d'*équilibrer* leurs évaluations dans une proportion acceptable, soit environ 50% de propositions qu'ils qualifieraient de "vrai". Ces deux comportements ne valideraient donc pas l'utilisation d'une perception de haut niveau dans cette expérience.

En conséquence, les protocoles recueillis doivent illustrer une valeur d'indice relativement élevée pour **d'** — ce qui signifie qu'ils ont bien discriminé deux ensembles de propositions et qu'ils ont donc bien traité les énoncés dans une recherche d'une solution adaptée au problème — et une valeur relativement faible pour **β** — ce qui signifie qu'ils ont considéré les propositions sous un angle de solution possible plutôt que d'essayer d'éliminer chaque proposition, donc qu'ils ont bien qualifié de "faux" des propositions qui, perçues à un autre niveau, pouvaient être considérées comme "vrai".

La figure 29 représente un exemple de protocole attendu :



		Prop. V	Prop. F	
Rép.	V	22	2	24
	F	38	58	96
		60	60	120

Figure 29. Exemple de protocole représentatif de nos hypothèses : le sujet évalue plusieurs propositions comme "vrai" au même problème (puisqu'il a 24 V au lieu de 10) et a repéré des propositions plus justifiables que d'autres (22 VV *vs* 2 VF), tout en ne considérant pas toutes les propositions que l'on a qualifié de facilement justifiables (22 sur 60). Les indices ont alors les valeurs suivantes : **d'** = 2,213 et **β** = 0,180.

4.2.2. La boucle perception-conceptualisation

L'hypothèse d'une boucle perception-conceptualisation prédit que les propositions que les sujets évaluent comme "vrai" ne sont pas sans rapport avec le traitement qu'ils ont effectué sur l'énoncé. En d'autres termes, une réponse qu'ils vont produire, obtenue à un certain niveau d'abstraction, peut orienter l'évaluation qu'ils vont faire des propositions, donc leur choix dans celles qu'ils vont considérer comme "vrai".

Par exemple, répondre **lji** au problème "**lmn** >> **lmo, kji** >> **?**" peut orienter les sujets à accepter la proposition **kjh**, étant donné l'importance du sens alphabétique dans les deux cas : **lji** peut en effet être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre dans le sens de l'alphabet devient son successeur", et **kjh** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédécesseur si ce n'est pas le cas".

Aussi, certaines réponses aux problèmes vont impliquer d'évaluer "vrai" certaines propositions de niveaux d'abstraction équivalent. Dans l'exemple précédent, répondre **lji** doit favoriser d'évaluer "vrai" **kjh**. Nous devons pouvoir par conséquent expliquer dans les résultats l'implication induite par certaines réponses sur le choix de propositions jugées acceptables comme solutions.

Par ailleurs, Hofstadter (1985) parle d'une prédominance de la perception sur l'abstraction dans un premier temps, mais que lorsqu'une solution plus abstraite est perçue, le niveau à laquelle elle se situe entraîne une perception à ce niveau pendant un temps relativement long. Cette force abstractive sur la perception de simples similitudes est réalisée dans le modèle COPYCAT par une activation plus ou moins difficile des concepts qui sont alors activés plus ou moins longtemps (Mitchell, 1993). Par exemple, un sujet peut répondre en utilisant une règle du type "la troisième lettre change", et tant que cela est possible dans les problèmes qu'il rencontre, il va chercher la troisième lettre de la chaîne et va la changer. Il va aussi avoir tendance à évaluer les propositions dans le sens où celles qui vont être considérées comme "vrai" peuvent être obtenues en appliquant cette règle. Mais si un problème (ou une proposition) est résolu (ou évaluée) en faisant intervenir la notion de *groupe de lettres*, — *i.e.*, dans le problème "**rst** >> **rsu**, **mrrjjj** >> **?**", le sujet a pu appliquer sa règle et fournir la réponse **mrsjjj** ("la troisième *lettre* change"), et évaluer ensuite **mrrkkk** comme une solution possible ("le dernier *groupe* change") —, cette nouvelle façon de percevoir les chaînes de lettres va être dominante dans la suite de la résolution et va mettre d'autant plus de temps à disparaître que le niveau d'abstraction auquel elle correspond était difficile à percevoir. On a donc une sorte de double échelle de sens opposés entre le *perceptif* et l'*abstractif* : plus la proposition se situe à un niveau d'abstraction élevé, moins elle est perceptible, mais lorsqu'elle est perçue, ce niveau reste plus longtemps influent sur la suite de la résolution — ce que l'on peut représenter par le schéma de la figure 30 :

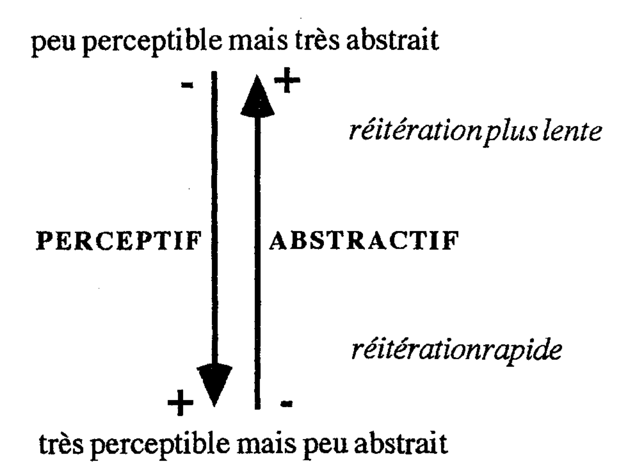


Figure 30. L'échelle perceptif—abstractif : une relation très perceptible est peu abstraite, donc peut souvent être utilisée par réitération successive. Dès lors qu'une relation moins perceptible (donc plus abstraite) est perçue, elle résistera plus longtemps à un changement.

Nous devons par conséquent être capable de rendre compte d'un protocole individuel dans sa totalité afin d'expliquer, par les mécanismes dont nous faisons l'hypothèse, les détails du parcours implicatif du sujet analysé.

En résumé, l'utilisation du processus de perception de haut niveau prédit que les sujets ne vont pas accepter toutes les réponses bien qu'ils puissent en accepter plusieurs. De plus, le choix d'un traitement privilégié à un certain niveau d'abstraction va orienter, par l'utilisation de la boucle perception-conceptualisation, le choix des propositions considérées comme "vrai" et la production de réponses aux problèmes suivants.

4.3. MÉTHODE

4.3.1. Participants

Quatre-vingts étudiants de l'Université de Provence, tous novices en psychologie et sans problèmes particuliers avec l'utilisation de l'alphabet de 26 lettres, ont participé à l'expérience.

4.3.2. Matériel

A chaque question du type (exemple du problème **1**) :

lmn >> lmo, kji >> ?

sont associées 12 propositions de solutions. Les 12 propositions sont dans le cas du problème **1** :

kji kjo kjj kjh lji ijk kij lkj jkl blo xwf kjk

Le tableau 1 représente le matériel expérimental utilisé :

Tableau 1. *Matériel utilisé : exemples, problèmes et propositions (en italiques, les propositions codées F).*

Problèmes	**Propositions**
Ex.1. abc >> abd, ijk >> ?	abd ijk ijd ijl *djk jjj abc abl lmn dba mro jok*
Ex.2. abc >> abd, aa >> ?	abd aa ad ab bb aaa *aabbdd dd cd aadd rbz skc*
Ex.3. abc >> abd, ace >> ?	abd ade acd acf acg *bdf abc abf abg ihg gii aee*
Pb.1. lmn >> lmo, kji >> ?	kji kjo kjj kjh lji *ijk kij lkj jkl blo xwf kjk*
Pb.2. ijk >> ijl, lmfgop >> ?	lmfgop lmfgol lmfgoq lmfgpq lmfgqr lnfhoq *lmfgqq ijlgoq nohiqr kmfgop lmefop lmfgoz*
Pb.3. abc >> abd, abbccd >> ?	abbddd abbcce abbcde abbcef *aababe aaaaad aababx uububc aahahc abbccd babcbd aacacd*
Pb.4. aabc >> aabd, ijkk >> ?	djkk jjkk hjkk ikkk ijkd ijkl ijdd ijll*iijl iijd jkkk ijlk*
Pb.5. abcd >> abcde, mlkji >> ?	mlkjie mlkjij mlkji mlkjih nmlkji mlkj lkji *abcdi mlkjii fghij mljjk abcd*
Pb.6. abcm >> abcn, rijk >> ?	rnnn rijn rijl rjkl nijk sijk*rikl rhij rijh mijk stuv abcs*
Pb.7. rst >> rsu, mrrjjj >> ?	mrrjjj mrsjjj mrrjju mrrjjk mrruuu mrrkkk nrsjjk mrrjjjj *mrrklm mrrppp mrrjjf orrjjj*
Pb.8. mrs >> mrt, iiii >> ?	mrt iiit iiij iitt iijj jjjj iiiii *ijkl mrss tttt iiim mri*
Pb.9. ooe >> o, riippp >> ?	r i p ip ipp *rip rr pp iippp ppp ii rrip*
Pb.10. eqe >> qeq, aaabccc >> ?	qeq bbbacbbb baaacccb abbbc *cccbaaa cacbcac abc bbbabbb qqqeppp abcba qaaaecccq bacb*

L'annexe 1 montre, par l'indication de règles appliquées à la fois au premier terme et au troisième terme de l'énoncé, que toutes les propositions sont acceptables.

4.3.3. Procédure

La tâche était assistée par ordinateur. Le logiciel HyperCard® nous a permis d'élaborer huit programmes correspondant chacun à une des conditions expérimentales[54]. La passation était individuelle.
Chaque sujet devait d'abord produire une réponse au problème, sans limite de temps et sans se restreindre à un alphabet non circulaire comme celui défini dans COPYCAT. Chaque réponse est enregistrée. Il évaluait ensuite chacune des 12 propositions correspondantes à ce problème (présentées dans un ordre aléatoire quelle que soit la condition expérimentale) "vrai" (cette réponse est une solution au problème) ou "faux" (cette réponse n'est pas une solution au problème). Chaque évaluation est enregistrée, accompagnée du temps mis à produire l'évaluation. Cette procédure se répétait pour chacun des 10 ou 13 (conditions *Avec Exemples*) problèmes.
La figure 31 résume la procédure expérimentale opérationnalisée sur ordinateur.

Chaque sujet donnait ainsi 130 réponses, 10 concernant leurs solutions aux 10 problèmes, et 120 concernant leurs évaluations aux 120 propositions. La moitié d'entre eux (conditions Avec Exemples) produisait 3 reponses et 36 évaluations supplémentaires.

Nous avons donc en tout recueilli :

(10 réponses x 80) + (3 réponses x 40) + (120 évaluations x 80) + (36 évaluations x 40) = 11660 données

Les exemples n'ont été considérés que comme facteur expérimental pouvant induire d'autres réponses et évaluations sur les 10 problèmes communs. Les analyses ont donc été faites sur les 10 problèmes, soit sur 10400 données.

[54] Nous remercions François Antoni pour sa participation à cette élaboration.

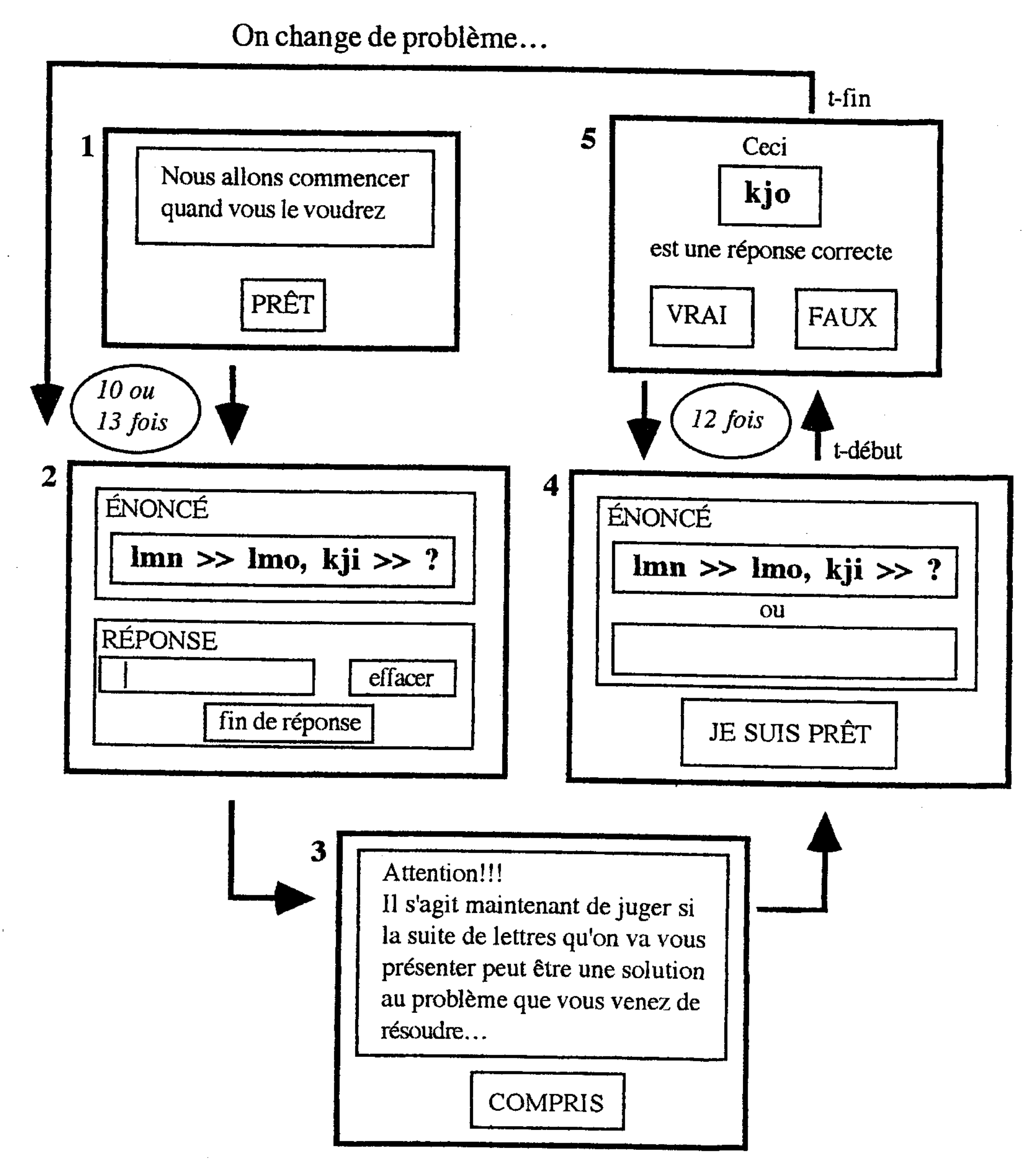


Figure 31. Après que l'expérimentateur lui ait expliqué le type de problèmes à résoudre, le sujet commence quand il le souhaite (**1**); un énoncé lui est alors proposé, qu'il doit résoudre en proposant une solution; il prend le temps qu'il veut, peut effacer sa réponse s'il n'en est pas satisfait et clique sur “fin de réponse” dans le cas contraire (**2**); un écran lui indique alors qu'il doit maintenant évaluer une réponse qu'on lui propose; il doit confirmer qu'il a compris cette consigne (**3**); le même énoncé apparait ensuite dans un encadré si le sujet est dans une condition *Avec Rappel*, rien n'apparait dans l'encadré dans le cas contraire (**4**); le sujet fait démarrer l'enregistrement du temps dès qu'il est prêt à évaluer la proposition (t-début); il l'évalue en cliquant sur “vrai” s'il pense que la proposition constitue une solution au problème, “faux” dans le cas contraire (**5**); dès qu'il a évalué la proposition, l'enregistrement stoppe (t-fin); cette opération (**4-5**) se répète 12 fois en tout, pour chaque proposition; à la dernière d'entre elles, un écran qui s'estompe peu à peu indique au sujet qu'un nouveau problème lui est proposé; le sujet se retrouve alors en position **2**; l'opération complète (**2-3-4-5**) se répète 13 fois si le sujet est dans une condition *Avec Exemples*, 10 fois dans le cas contraire; l'ordre de présentation des problèmes est de difficulté croissante dans les conditions *Avec Ordre* (*cf.* tableau 1), aléatoire dans le cas contraire; les propositions sont toujours présentées dans un ordre aléatoire.

4.3.4. Variables dépendantes et prédictions

Les variables dépendantes sont les suivantes :

(1) Le nombre de réponses "vrai" ou "faux" aux évaluations.

(2) Le temps de réponse (en tics, soit en 1/60ème de seconde) aux évaluations.

Prédictions sur le nombre de propositions évaluées "vrai"

Le nombre de réponses "vrai" aux évaluations des propositions doit augmenter en fonction de la condition expérimentale, de celle permettant le plus une stratégie à celle la permettant le moins :

taux le plus faible	**111** : *Avec Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
	112 : *Avec Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
	121 : *Avec Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
	122 : *Avec Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*
	211 : *Sans Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
	212 : *Sans Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
	221 : *Sans Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
taux le plus élevé	**222** : *Sans Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*

Prédictions sur le temps de réponses aux évaluations

Le temps de réponses aux évaluations des propositions doit augmenter en fonction de la condition expérimentale, de celle permettant le plus une stratégie à celle la permettant le moins :

temps le plus petit	**111** : *Avec Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
	112 : *Avec Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
	121 : *Avec Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
	122 : *Avec Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*
	211 : *Sans Rappel, Avec Exemples, Avec Ordre*
	212 : *Sans Rappel, Avec Exemples, Sans Ordre*
	221 : *Sans Rappel, Sans Exemples, Avec Ordre*
temps le plus grand	**222** : *Sans Rappel, Sans Exemples, Sans Ordre*

Une deuxième prédiction concerne les temps de réponses : en effet, on peut faire l'hypothèse raisonnable que la réponse produite par le sujet lors de la résolution d'un

problème va être vite évaluée dans un temps plus court si celle-ci est présente dans la liste des propositions que si elle ne l'est pas. Dans ce cas, l'observation d'une distribution de temps moyens au cours de la résolution de chaque problème sous la forme d'une courbe bi-modale nous permettrait de caractériser deux ensembles de propositions, le premier concernant des temps rapides dans l'évaluation, le second des temps longs. Nous pourrions alors inférer les solutions auxquelles les sujets ont pensé dans leur production de réponse, mais qu'ils n'ont pas donné (puisqu'ils ne devaient nous en fournir une seule), et celles auxquelles ils ont pensé pendant la résolution.

4.4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.4.1. La fluidité des sujets

L'utilisation du processus de perception de haut niveau doit montrer que les sujets ne vont pas accepter toutes les réponses bien qu'ils puissent en accepter plusieurs. Il convient avant tout de vérifier que les sujets acceptent de donner plusieurs réponses aux problèmes auxquels ils sont confrontés et n'utilisent pas simplement une stratégie visant à choisir une réponse au problème et à l'évaluer "vrai" ensuite (sous-entendu qu'elle soit contenue dans les 12 propositions présentées).

Le nombre de propositions évaluées "vrai"

L'annexe 2 présente le nombre total de propositions évaluées "vrai" par sujet et détaillé en fonction des problèmes. Le tableau 2 présente les moyennes par problèmes et pour chaque condition expérimentale :

Tableau 2. *Nombre moyen de propositions évaluées "vrai" par problèmes selon les conditions expérimentales (**R** : rappel, **E** : exemples, **O** : ordre, **1** : avec, **2** : sans).*

	Problèmes										
REO	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**m**
111	2,5	3,0	3,2	3,7	3,8	2,7	3,4	3,5	3,4	2,6	3,18
112	2,7	3,1	1,9	2,1	2,7	2,5	3,0	2,6	2,9	3,1	2,66
121	3,2	4,6	2,6	3,6	4,0	3,1	3,8	3,7	3,8	3,1	3,55
122	2,4	1,7	3,0	3,3	2,8	2,6	3,3	2,7	3,1	3,4	2,83
211	3,8	3,1	2,8	2,8	3,3	3,5	3,0	4,9	3,2	3,3	3,37
212	2,1	3,3	2,2	2,6	4,0	3,0	2,2	1,6	3,4	3,1	2,75
221	3,1	3,3	2,1	2,1	2,8	2,6	2,7	1,5	2,5	2,9	2,56
222	2,2	3,8	2,2	2,6	2,4	1,6	2,9	2,8	3,1	2,8	2,64
m	2,8	3,2	2,5	2,9	3,2	2,7	3,0	2,9	3,2	3,0	**2,9**

En moyenne, les sujets évaluent 2,9 propositions "vrai" sur les 12 présentées, soit presque 25%.

Une analyse de variance à trois facteurs (R, E, O) a été conduite sur le nombre de réponses "vrai" : les facteurs **R**appel, **E**xemples et **O**rdre n'ont pas d'effet sur le nombre de propositions évaluées "vrai" ($F(1,72) < 1$ pour les effets principaux R et E et pour les interaction R-E, R-O, E-O et R-E-O, *n.s.*; $F(1, 72) = 1,149$ pour l'effet principal O, *n.s.*).

Une deuxième analyse de variance a inclus comme variable indépendante les différents problèmes. Les résultats montrent un effet marginal des différents problèmes (F (9, 648) = 1,831, p < 0,06) : le nombre de propositions évaluées "vrai" semble dépendre du problème considéré.

De plus, l'interaction Exemples-Ordre est significative (F (9, 648) = 2,002, p < 0,04) (figure 32) :

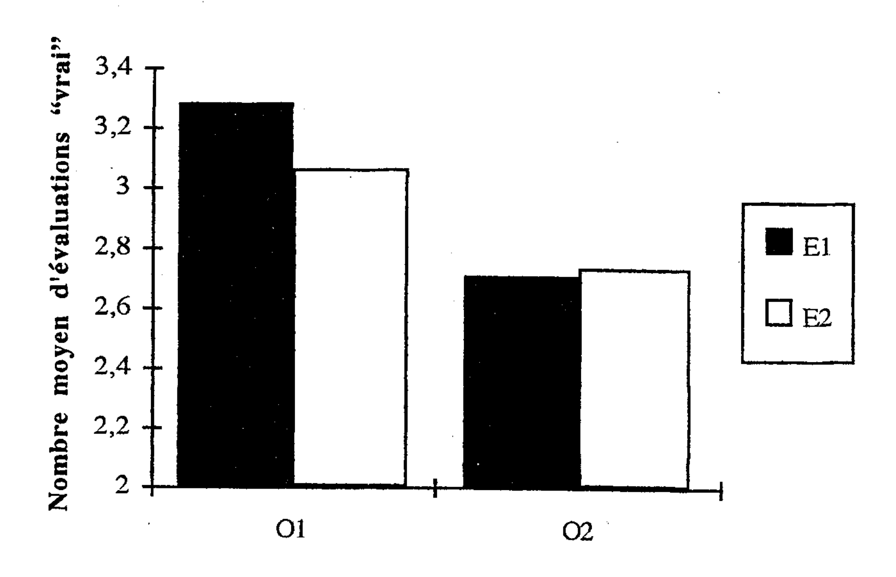


Figure 32. Interaction Exemples-Ordre (**1** : avec, **2** : sans) sur le nombre de propositions évaluées "vrai".

Les sujets placés en conditions expérimentales *Avec Exemples* et *Avec Ordre* (les conditions - **11**) fournissent globalement plus d'évaluations "vrai". En d'autres termes, avoir des exemples et avoir un ordre croissant de présentation des problèmes semblent favoriser ce type d'évaluations. Lorsqu'on regarde plus précisément les résultats par problème, il semble que ce soit le facteur O1 (*Avec Ordre*) qui tend à accroître le nombre de réponses, le facteur O2 (*Sans Ordre*) ayant tendance à les restreindre, lorsque ces facteurs sont couplés avec le facteur E1 (*Avec Exemples*). Ces variations sont plus marquées pour les problèmes **3**, **4**, **7**, et **8**.

Les facteurs E1 et O1 ont ainsi tendance à se compléter, les facteurs E1 et O2 à se gêner. Nous expliquons cet effet par le fait qu'avoir des exemples privilégie un certain niveau d'abstraction (les exemples étant très similaires) qui se retrouve aisément dans les premiers problèmes — certaines propositions étant proches des propositions contenues dans les exemples. Aussi, lorsque les problèmes sont d'un niveau croissant de difficulté — lorsqu'ils partagent une certaine similitude l'un *à la suite* de l'autre —, adopter un niveau d'abstraction différent pour résoudre le problème suivant est plus facile que résoudre trois exemples similaires et s'apercevoir, dès le quatrième problème à résoudre,

que cette similitude ne se retrouve pas (le problème **10**, très différent des exemples, peut apparaître comme premier problème dans une condition *Sans Ordre*).

Les sujets exhibent donc une fluidité, dans la mesure où ils donnent en moyenne près de 3 évaluations "vrai" pour chaque problème. Mais cette fluidité varie en fonction des problèmes et n'est pas globalement liée aux facteurs expérimentaux utilisés. Par ailleurs, la distribution des sujets sur une échelle de 10 en 10 représentant le nombre total d'évaluations "vrai" nous donne le tableau 3 :

Tableau 3. *Répartition des 80 sujets selon le nombre de propositions évaluées "vrai".*

Nombre de propositions évaluées "vrai"	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80
Nombre de sujets	11	23	13	12	8	7	4	2

Notons que 8 (1, 3, 11, 28, 36, 51, 58, 59) des 11 sujets de la colonne 1-10 n'évaluent que leur réponse au problème, et si elle n'apparaît pas dans la liste des propositions, n'en considèrent aucune autre (*cf.*, en annexe 2, le nombre total de propositions évaluées "vrai" par sujet et par problème). Certains d'entre eux explicitaient clairement qu'ils ne concevaient pas qu'il puisse y avoir plusieurs solutions au même problème.

Le temps de réponse des évaluations

Le tableau 4 présente les temps de réponse moyens aux évaluations par problèmes et pour chaque condition expérimentale :

Tableau 4. *Temps moyen aux évaluations par problèmes (en secondes) selon les conditions expérimentales (**R** : rappel, **E** : exemples, **O** : ordre, 1 : avec, 2 : sans).*

	Problèmes										
REO	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**m**
111	4,06	4,25	4,02	4,00	4,23	3,52	3,67	3,15	2,47	4,60	3,80
112	4,13	4,32	3,95	3,55	4,25	3,95	3,50	3,33	3,15	3,98	3,82
121	6,96	7,08	5,03	5,33	4,07	4,30	5,05	3,28	4,10	5,27	5,05
122	4,80	4,35	3,53	4,12	3,62	3,73	3,38	2,87	2,73	3,77	3,68
211	4,82	4,82	4,07	3,38	3,25	2,88	3,12	2,67	1,92	3,28	3,42
212	3,67	4,35	2,93	2,80	3,12	2,93	3,17	2,43	2,20	3,43	3,10
221	9,42	9,23	5,28	4,48	5,50	5,77	4,77	4,07	3,85	4,25	5,67
222	4,82	5,20	4,70	4,62	4,18	4,15	5,10	3,80	3,80	5,57	4,60
m	5,33	5,45	4,18	4,03	4,03	3,90	3,97	3,20	3,03	4,27	**4,14**

En moyenne, les sujets évaluent en 4,14 secondes une proposition.

Les analyses ont été effectuées sur les tics (1/60ème de seconde). Une analyse de variance à trois facteurs (R, E, O) a été conduite sur le temps de réponse : un effet principal est observé sur le facteur **E**xemples ($F(1, 72) = 4{,}917$, $p < 0{,}03$). Aucun autre effet sur les facteurs et les interactions n'est apparu ($F(1,72) < 1$ pour l'effet principal R et pour les interaction R-O, E-O et R-E-O, *n.s.*; pour l'effet principal O et l'interaction R-E, $F(1, 72) < 1{,}6$, *n.s.*).

Ainsi, en moyenne, le temps de réponse dans l'évaluation des propositions est plus court lorsque les sujets sont dans une condition *Avec Exemples* (3,53 *vs* 4,75 secondes). Ce résultat va dans le sens d'une adaptation évoquée précédemment consistant à essayer d'élaborer une stratégie pour évaluer les propositions à partir des exemples similaires.

Une deuxième analyse de variance a inclus comme variable indépendante les différents problèmes. Les résultats montrent un effet principal des différents problèmes ($F(9, 648) = 15{,}891$, $p < 0{,}0001$) : le temps de réponse aux évaluations dépend ainsi du problème considéré.

De plus, des effets significatifs des facteurs **E**xemples ($F(9, 648) = 2{,}108$, $p < 0{,}03$) et **O**rdre ($F(9, 648) = 2{,}929$, $p < 0{,}003$) sont observés. Ces facteurs influencent donc le temps de réponse selon les problèmes : la modalité *Sans Exemples* et la modalité *Avec Ordre* augmente le temps de réponses des problèmes, l'effet étant plus marqué pour les problèmes **1** et **2**.

Enfin, l'interaction **E**xemples-**O**rdre est significative ($F(9, 648) = 2{,}002$, $p < 0{,}04$) (figure 33) :

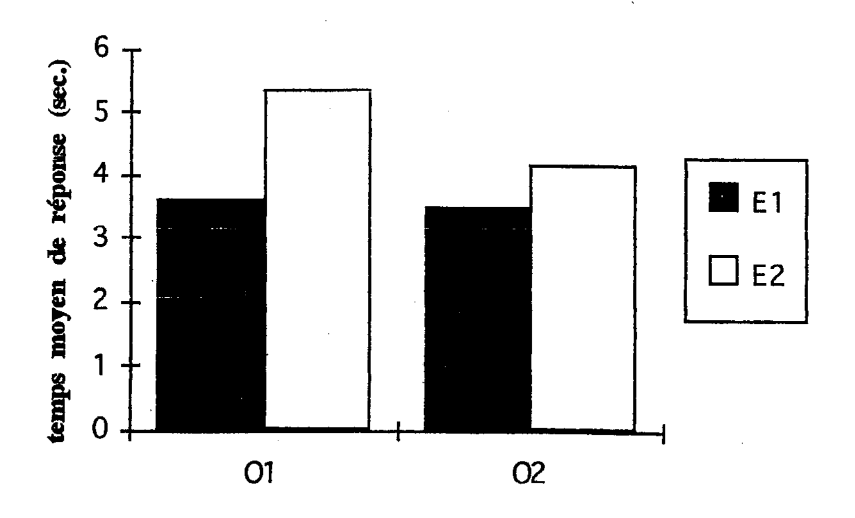


Figure 33. Interaction **E**xemples-**O**rdre (**1** : avec, **2** : sans) sur le temps de réponse.

Le temps de réponse augmente dans les conditions *Sans Exemples*, surtout lorsque cette modalité est couplée à la modalité *Avec Ordre*. Cette variation est plus marquée pour les problèmes **1**, **2**, **3**, **5** et **6**.
Nous pensons que les conditions *Avec Exemples* facilitent l'emploi d'une stratégie, donc doivent permettre aux sujets d'évaluer plus rapidement les propositions proches de leur choix de résolution. Sous cette modalité, aucun effet de l'ordre n'apparaît. En revanche, dans les conditions *Sans Exemples*, le temps de réponse est augmenté en particulier lorsque la modalité *Avec Ordre* est présente.
Ce résultat nous semble pertinent pour faire l'hypothèse que l'emploi d'une stratégie est nettement déterminé par le facteur Exemples, le facteur Ordre pouvant alors avoir un effet facilitateur ou non sur cet emploi.

Le taux de confirmation des réponses

Nous avons également calculé le pourcentage de réponses données par les sujets et validées lorsqu'ils ont à évaluer les 12 propositions et que leur réponse en fait partie. Le tableau 5 indique pour chaque condition expérimentale le pourcentage de réponses que nous avions prévues et le pourcentage parmi ces réponses d'une justification de la part des sujets du fait qu'ils confirment leur choix en répondant “vrai” :

Tableau 5. *Pourcentage de réponses prévues dans le choix des propositions et pourcentage de réponses confirmées lors de l'évaluation des propositions correspondantes aux réponses données par les sujets, par condition expérimentale.*

Conditions	**111**	**112**	**121**	**122**	**211**	**212**	**221**	**222**	**m**
Rép. prévues (%)	78,3	84,2	75,8	79,2	68,3	78,3	73,3	80,8	77,3
Rép. confirmées (%)	94,7	92,1	96,7	94,7	93,9	92,6	88,6	91,8	93,1

Ces résultats indiquent que les sujets évaluent leur réponse comme une proposition “vrai” lorsque celle-ci est prévue dans la liste des propositions, dans un pourcentage de 93,1%. Nous pouvons donc en conclure qu'ils respectent bien la consigne consistant à rechercher une solution au problème (solutions prévues dans 77,3% des cas) et à évaluer les propositions qu'on leur présente. S'ils avaient répondu de façon arbitraire aux problèmes, nous n'aurions pas obtenu une confirmation de leur choix proche de 100%.

Cependant, l'observation de la distribution des temps de réponses par sujet ne met pas en évidence une courbe bi-modale par laquelle nous aurions pu inférer les réponses auxquelles les sujets pouvaient avoir accès lors de la production de leur réponse (celles

qu'ils auraient évaluées rapidement) et les réponses qu'ils n'avaient pas envisagées et qui auraient pu leur apparaître au cours de l'évaluation des propositions.

Après avoir montré que les sujets acceptent plusieurs propositions comme solutions aux problèmes, et avoir indiqué certains effets influençant le nombre de ces propositions et le temps mis à les évaluer, analysons plus en détail la façon dont les sujets opèrent dans leurs évaluations.

4.4.2. La pertinence psychologique de la perception de haut niveau

L'analyse par la TDS permet de répondre à la question plus générale concernant le choix des propositions évaluées "vrai" ou "faux". L'annexe 3 montre le nombre d'évaluations par sujet présent dans chacune des cases des protocoles expérimentaux comme celui de la figure 29. Le tableau 6 indique les moyennes par condition expérimentale du nombre d'évaluations VV, VF, FV et FF :

Tableau 6. *Nombre de réponses en moyenne aux évaluations VV (le sujet a évalué "vrai" une proposition codée V), VF (le sujet a évalué "vrai" une proposition codée F), FV (le sujet a évalué "faux" une proposition codée V), FF (le sujet a évalué "faux" une proposition codée F), avec le pourcentage de propositions évaluées "vrai" et "faux", par condition expérimentale.*

Conditions	**111**	**112**	**121**	**122**	**211**	**212**	**221**	**222**	**m**
Propositions V									
Evaluations VV	22,5	18,4	24,5	20	22	18,7	17	18,6	**20,2**
Evaluations VF	9,3	8,2	11	8,3	11,7	8,8	8,6	7,8	**9,2**
Propositions F									
Evaluations FV	37,5	41,6	35,5	40	38	41,3	43	41,4	**39,8**
Evaluations FF	50,7	51,8	49	51,7	48,3	51,2	51,4	52,2	**50,8**

Nous observons qu'en moyenne, sur 120 propositions, 29,4 propositions sont évaluées "vrai" (soit 24,5%) — donc considérées comme des solutions aux problèmes — dont les deux-tiers appartiennent aux évaluations que nous avons codées V.

Plus précisément, la figure 34 représente la place de chaque sujet par rapport aux deux comportements extrêmes que nous avons indiqués dans nos hypothèses. Globalement, les sujets s'éloignent des comportements extrêmes représentés par **M** et **H**. En effet, les sujets ont en moyenne **d'** = 2,164 (s = 1,518) et β = 0,522 (s = 0,371). Aucune

différence n'apparaît en fonction des conditions expérimentales — on a plutôt des groupes d'individus, et surtout l'influence de certaines modalités des facteurs sur les choix de propositions (*cf.* **4.4.3.**).

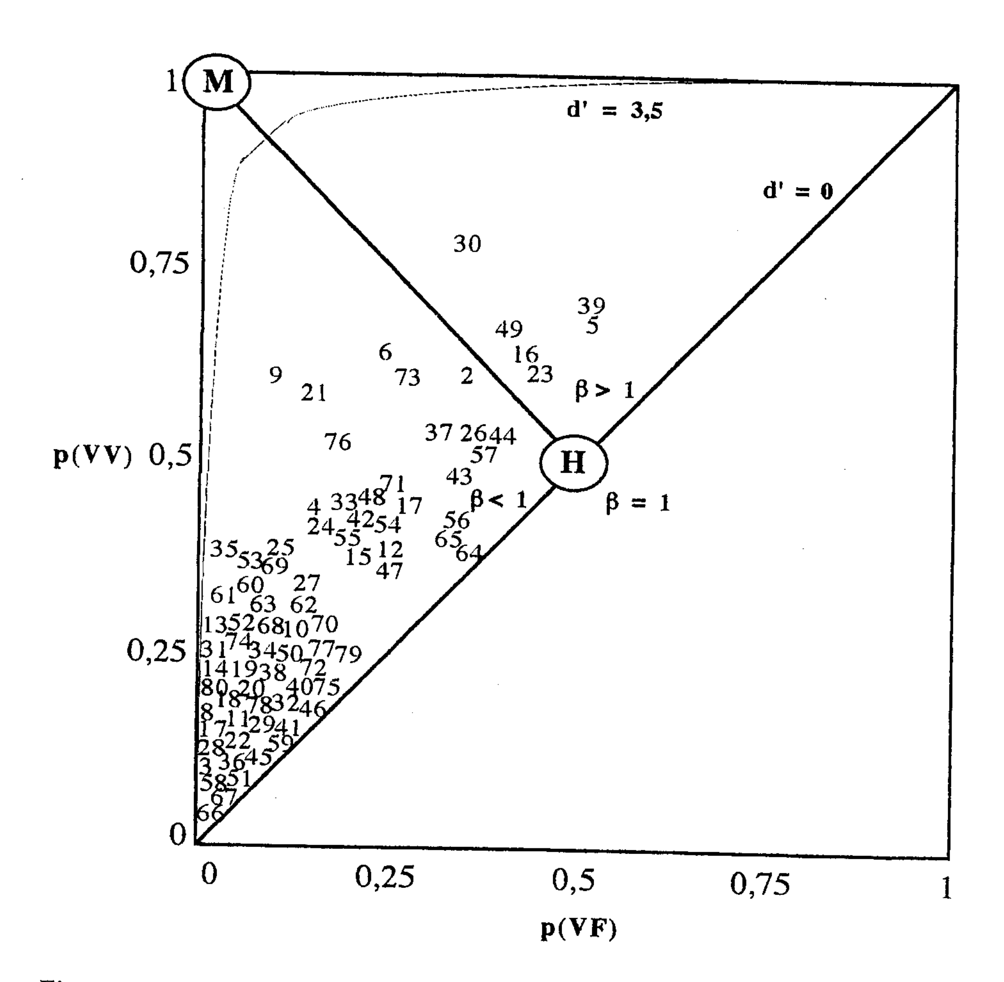


Figure 34. Positions des sujets sous la forme d'une courbe *ROC* (*relative operating characteristic*) par rapport aux comportements extrêmes **M** et **H**.
N.B. : l'aggrégat de sujets en bas à gauche du graphe doit être perçu très près de l'axe p(VV); en effet, nous avons étalé les sujets pour permettre une lecture plus claire (*cf.* annexe 3 pour les scores exactes des sujets impliqués).

Ces résultats montrent que :
— globalement, les sujets discriminent plutôt bien les deux ensembles de propositions : **d '** est suffisamment élevé dans la majorité des cas, bien que 25 sujets ont un **d '** < 1 (*cf.* annexe 3); ce résultat dépend évidemment du codage effectué : majoritairement, ce sont les propositions codées V qui sont sélectionnées par les sujets comme “vrai”, mais le matériel est suffisamment “créatif” pour que les sujets utilisent d'autres critères ne correspondant pas forcément à ceux que nous avons pris;
— les sujets évaluent bien la plausibilité de la proposition qu'ils ont à évaluer comme solution : **β** < 1 pour la majorité d'entre eux (seuls 6 sujets ont un **β** > 1, qui sont proches d'un comportement sans critère précis de décision).

Nous pensons que ce résultat est suffisant pour dire que le comportement des sujets vérifie qu'on puisse parler de perception de haut niveau. En effet, nous pouvons affirmer qu'ils évaluent les propositions en recherchant les solutions aux problèmes, donc qu'ils considèrent que plusieurs propositions sont des solutions. Pour autant, ils ne considèrent pas toutes les propositions comme telles, tout en préférant les propositions que nous avons nous-mêmes codées comme plus justifiables. Ainsi, leur comportement, que nous avons démontré comme n'étant dans la majorité des cas ni aléatoire, ni stratégique, peut s'expliquer par le fait qu'ils perçoivent certaines propositions comme des solutions, en fonction du niveau d'abstraction qui permet de les considérer comme des solutions.

Bien sûr, nous restons ici dans une vue d'ensemble très générale, l'objectif étant simplement de montrer que *les sujets perçoivent plusieurs solutions à un problème, mais pasarbitrairement.* Nous allons maintenant voir plus précisément quels sont les choix des sujets dans leurs évaluations, en fonction de leurs réponses aux problèmes.

4.4.3. La pertinence psychologique de la boucle perception-conceptualisation

Pour chaque problème, nous avons regardé, à partir de certaines des réponses que nous avions prévues, quelles sont les propositions que les sujets ont tendance à évaluer "vrai" ou à évaluer "faux". Par conséquent, nous avons construit des tableaux de contingence indiquant ces implications pour chaque problème, sur la base des sujets faisant alors partis de l'échantillon de réponses considéré (*cf.* annexe 4 pour la totalité des implications à partir des réponses prévues). Toutes les analyses de variance ont inclus pour chaque problème les propositions comme variables indépendantes.

Problème 1 : lmn >> lmo, kji >> ?

La figure 35.1. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **kjj** et **lji** selon que les sujets ont répondu **kjj** ou **lji** :

		Prop. "vrai" **kjj**	Prop. "vrai" **lji**	
Rép.	**kjj**	.93	.20	N = 40
Rép.	**lji**	.08	.77	N = 13

Figure 35.1. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **1** concernant les propositions **kjj** et **lji** selon les réponses **kjj** et **lji** données par les sujets.

La réponse **kjj** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". Cette réponse, proche des réponses attendues lors de l'entraînement effectué par la moitié des sujets, est en plus grand nombre dans les conditions expérimentales *Avec Exemples* (E1, ANOVA $F(1, 72) = 6{,}849$, $p < 0{,}011$). Par contre, la réponse **lji**, non influencée par les exemples, peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre dans le sens de l'alphabet devient son successeur". Le niveau d'abstraction peut être considéré comme plus élevé puisqu'il faut rechercher une lettre et prendre en compte le sens alphabétique. Ainsi, lorsque les sujets répondent **kjj**, ils perçoivent peu **lji** comme une solution, et ceux qui répondent **lji** considèrent encore moins **kjj** comme solution. Nous avons ici une illustration de l'échelle perceptif-abstractif de sens contraire évoquée plus haut : il semblerait en effet que les sujets "démarrant" à **lji** aient plus de difficultés à percevoir une solution moins abstraite.

Problème 2 : ijk >> ijl, lmfgop >> ?

Le tableau 35.2. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **lmfgoq** et **lnfhoq** selon que les sujets ont répondu **lmfgoq** ou **lnfhoq** :

		Prop. "vrai" **lmfgoq**	Prop. "vrai" **lnfhoq**	
Rép.	**lmfgoq**	.96	.19	N = 26
	lnfhoq	.75	1	N = 4

Figure 35.2. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **2** concernant les propositions **lmfgoq** et **lnfhoq** selon les réponses **lmfgoq** et **lnfhoq** données par les sujets.

La réponse **lmfgoq** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". Cette réponse, proche des réponses attendues lors de l'entraînement effectué par la moitié des sujets, n'est pourtant pas influencé par la modalité E1. La raison peut être la suivante : un grand nombre de sujets prenaient le "**l**" de **lmfgop** pour un "**i**" — c'est pourquoi nous avons ici peu de sujets pris en compte. En revanche, cela explique aussi pourquoi très peu de gens répondent **lnfhoq** : non seulement cette réponse est plus abstraite, puisqu'il faut appliquer la règle "chaque dernière lettre de chaque groupe (de deux lettres) devient son successeur", faisant intervenir la notion de *groupe*, mais elle est très difficilement perceptible s'il on confond le "**l**" avec un "**i**" qui entraîne plutôt une perception de la chaîne comme une *suite de lettres*, et non une *suite de groupes*. La réponse **lnfhoq** est quant à elle favorisée dans la condition expérimentale la plus libre possible — celle qui favorise selon nous le moins les stratégies ou les vérifications : R2-

E2-O2 (ANOVA F (1, 72) = 5,74, p < 0,02). Néanmoins, cette réponse n'est pas suffisamment abstraite pour ne pas percevoir une solution dans la réponse plus classique qu'est **lmfgoq**. Par contre, lorsqu'on est à un niveau d'abstraction correspondant à **lmfgoq**, il est plus difficile de considérer **lnfhoq** comme une solution.

Problème 3 : abc >> abd, abbccd >> ?

Le tableau 35.3. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **abbcce** et **abbcde** selon que les sujets ont répondu **abbcce** ou **abbcde** :

		Prop. "vrai"		
		abbcce	**abbcde**	
Rép.	**abbcce**	.92	.29	N = 48
	abbcde	0	1	N = 2

Figure 35.3. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **3** concernant les propositions **abbcce** et **abbcde** selon les réponses **abbcce** et **abbcde** données par les sujets.

La réponse **abbcce** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". Cette réponse est influencée par la modalité R1 (ANOVA F (1, 72) = 6,688, p < 0,012) qui peut aider à maintenir une stratégie de vérification d'une règle qu'on essaie d'appliquer le plus longtemps possible, comme celle ci-dessus. La réponse **abbcde**, en revanche, prend appui sur la notion de groupe par l'application de la règle "chaque lettre du dernier groupe (de deux lettres) devient son successeur". Ainsi, répondre **abbcce** fait que l'on accepte dans une proportion non négligeable (.43) **abbddd**, qui correspond à l'application de la règle "la lettre **c** devient la lettre **d**", non perçue lorsqu'on répond **abbcde** (*cf.* annexe 4). De plus, les sujets qui répondent **abbddd** trouvent acceptables **abbcce** et **abbccd** ("la dernière lettre devient la lettre d") mais pas **abbcde**. Nous avons ici une séparation "niveau lettre" et "niveau groupe" qui entraîne un certain champ d'acceptation.

Problème 4 : aabc >> aabd, ijkk >> ?

Le tableau 35.4. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **hjkk**, **ijkl** et **ijll** selon que les sujets ont répondu **hjkk**, **ijkl** ou **ijll**.

		Prop. "vrai" hjkk	ijkl	ijll	
	hjkk	1	.44	.11	N = 9
Rép.	**ijkl**	.11	1	.32	N = 44
	ijll	0	0	1	N = 3

Figure 35.4. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **4** concernant les propositions **hjkk, ijkl** et **ijll** selon les réponses **hjkk, ijkl** et **ijll** données par les sujets.

La réponse **ijkl** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". La réponse **hjkk**, en revanche, prend appui sur la notion de *sens alphabétique* par l'application de la règle "la lettre non doublée à une extrêmité devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédécesseur si ce n'est pas le cas". Cette prise en compte du sens de l'alphabet fait qu'on accepte relativement bien **ijll** comme solution, alphabétiquement ordonnée. Mais la réponse **ijll**, lorsqu'elle est produite, repose exclusivement sur la notion de *groupe*, en appliquant la règle "chaque lettre du dernier groupe devient son successeur". Ainsi, les sujets produisant **ijll** comme réponse ne perçoivent pas les propositions **hjkk** et **ijkl** comme des solutions. De plus, ceux qui produisent **hjkk** acceptent relativement bien **ijkl** (qui représente une suite alphabétique) mais peu **ijll**, d'un autre niveau d'abstraction où l'alphabet n'a pas à être considéré. Là encore, la perception lors de la production de la réponse influence les choix dans la recherche d'autres solutions parmi les propositions présentées.

Problème 5 : abcd >> abcde, mlkji >> ?

Le tableau 35.5. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **mlkjij, mlkjih** et **nmlkji** selon que les sujets ont répondu **mlkjij, mlkjih** ou **nmlkji.**
La réponse **mlkjij** peut être obtenue en appliquant la règle "toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre". Cette réponse, encore sous la pression d'une recherche de solution basée sur la fin des chaînes de lettres dans les problèmes précédents, est favorisée par la modalité E1 (ANOVA $F(1,72) = 4,056$, $p < 0,05$) et par le couple de modalités R1-O1 (ANOVA $F(1,72) = 4,056$, $p < 0,05$). Mais l'énoncé influence la perception du rôle pouvant être joué par le *sens alphabétique*. Ainsi, la réponse **mlkjih,** majoritaire, est construite en appliquant la règle "toute chaîne devient la même chaîne suivie de la lettre alphabétique successive si le sens de l'alphabet est respecté, par la lettre alphabétique qui précède si ce n'est pas le cas".

		Prop. "vrai"		
	mlkjij	**mlkjih**	**nmlkji**	
mlkjij	.82	.41	.24	N = 17
Rép. **mlkjih**	.12	.97	.70	N = 33
nmlkji	.08	.62	.85	N = 13

Figure 35.5. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **4** concernant les propositions **mlkjij**, **mlkjih** et **nmlkji** selon les réponses **mlkjij**, **mlkjih** et **nmlkji** données par les sujets.

Répondre **mlkjih** favorise donc la perception de la solution représentée par **nmlkji**, qui fait encore plus explicitement appel au sens alphabétique par l'application de la règle "toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre alphabétique à la suite de cette dernière lettre alphabétique". Et répondre **nmlkji** encourage à accepter **mlkjih** comme solution. Nous avons encore une illustration de l'échelle perceptif—abstractif en sens opposé : répondre **mlkjij**, basée sur un "niveau lettre", rend possible d'accepter les propositions **mlkjih** et **nmlkji**, mais lorsqu'on produit ces réponses et qu'on se situe à un "niveau alphabétique" plus abstrait, **mlkjij** n'est alors pratiquement plus perçue comme une solution acceptable.

Problème 6 : abcm >> abcn, rijk >> ?

Le tableau 35.6. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **rijl** et **sijk** selon que les sujets ont répondu **rijl** ou **sijk** :

		Prop. "vrai"	
	rijl	**sijk**	
Rép. **rijl**	.84	.21	N = 56
Rép. **sijk**	.31	.85	N = 13

Figure 35.6. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **6** concernant les propositions **rijl** et **sijk** selon les réponses **rijl** et **sijk** données par les sujets.

La réponse **rijl** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". La réponse **sijk**, en revanche, est basée sur la notion de *groupe* car la prise en compte de la règle "la lettre n'appartenant pas à un groupe successif devient son

successeur" est nécessaire à sa construction. Chacune semble exclure l'autre, mais **sijk** ne rend pas imperceptible **rijl**. Pourtant, les deux réponses participent à deux niveaux d'abstraction différents. En effet, répondre **rijl** favorise le fait d'accepter **rijn** dans une proportion de .30 (contre .15), **rijn** elle-même favorisée par la modalité E1 (ANOVA F (1, 72) = 5,651, p < 0,021); répondre **sijk**, au contraire, favorise plutôt la proposition **nijk** dans une proportion de .54 (contre .16), qui elle-même est influencée par la modalité O1 (ANOVA F (1, 72) = 7,895, p < 0,007) (*cf*. annexe 4). On peut avancer l'hypothèse plus générale que les sujets placés dans une condition *Avec Exemples* privilégient les réponses "classiques" dans lesquelles la construction se trouve généralement en fin de chaîne, le facteur *Avec Ordre* peut quant à lui favoriser la prise en considération d'autres possibilités — comme tenir compte des groupes — auxquelles on accède dans un ordre croissant de difficultés.

Problème 7 : rst >> rsu, mrrjjj >> ?

Le tableau 35.7. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **mrrjjk** et **mrrkkk** selon que les sujets ont répondu **mrrjjk** ou **mrrkkk** :

		Prop. "vrai" **mrrjjk**	Prop. "vrai" **mrrkkk**	
Rép.	**mrrjjk**	.91	.29	N = 35
	mrrkkk	.38	.88	N = 24

Figure 35.7. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **7** concernant les propositions **mrrjjk** et **mrrkkk** selon les réponses **mrrjjk** et **mrrkkk** données par les sujets.

La réponse **mrrjjk** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". La réponse **mrrkkk**, en revanche, est basée sur la notion de *groupe* par l'application de la règle "chaque lettre du dernier groupe devient son successeur". Là encore, **mrrjjk** se situe à un "niveau lettre", et est de ce fait influencée par le couple de modalités R1-E1 (ANOVA F (1, 72) = 5,357, p < 0,03), tandis que **mrrkkk** se situe à un "niveau groupe". Répondre **mrrjjk**, c'est accepter plus facilement **mrsjjj** (.17 contre .04) comme "vrai", basée sur la recherche de la *troisième* lettre plutôt que sur la dernière. Répondre **mrrkkk**, en revanche, favorise davantage le fait d'accepter **mrrruuu** (.42 contre .17), basée sur une règle très proche (*cf*. annexe 4).

Problème 8 : mrs >> mrt, iiii >> ?

Le tableau 35.8. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **iiij** et **jjjj** selon que les sujets ont répondu **iiij** ou **jjjj**.

		Prop. "vrai" iiij	Prop. "vrai" jjjj	
Rép.	iiij	1	.24	N = 46
	jjjj	.58	1	N = 12

Figure 35.8. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **8** concernant les propositions **iiij** et **jjjj** selon les réponses **iiij** et **jjjj** données par les sujets.

La réponse **iiij** peut être obtenue en appliquant la règle "la dernière lettre devient son successeur". La réponse **jjjj**, en revanche, est basée sur la notion de *mêmes lettres* par l'application de la règle "chaque lettre de la dernière catégorie de lettre devient son successeur". Cette dernière solution, non privilégiée dans sa construction jusqu'ici — mais favorisée par le couple de modalités E2-O2 (ANOVA $F(1, 72) = 5{,}769$, $p < 0{,}02$) — permet plus facilement la perception des solutions comme **iiiii** (.33 contre .13) mais pas de celles comme **ijkl** (0 contre .24) (*cf.* annexe 4). Néanmoins, la proportion est plus importante de **jjjj** vers **iiij** que de **iiij** vers **jjjj**. Il semblerait qu'avoir une perception de "niveau lettre" gêne la prise en compte des lettres de même nature, *i.e.* le "nombre de mêmes lettres".

Ainsi, il est alors plus difficile de percevoir comme acceptable des réponses comme **jjjj** ou **iiiii**. Par contre, avoir une perception à un niveau "mêmes lettres" sauvegarde une perception "niveau lettre" tout en permettant plus facilement un comptage de lettres (comme dans la solution **iiiii**); cependant, cette perception là ne permet plus d'accéder à une orientation alphabétique quelconque, comme dans la solution **ijkl**, préservée lorsqu'on produit **iiij** qui respecte tout de même l'orientation présentée dans l'énoncé.

Problème 9 : ooe >> o, riippp >> ?

Le tableau 35.9. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **r** et **p** selon que les sujets ont répondu **r** ou **p**.

La réponse **r** peut être obtenue en appliquant la règle "la première lettre est conservée". Cette réponse permet, dans une mesure relative, de prendre en compte des solutions comme **rip** (.10) ou **rr** (.14) qui ne sont pas acceptées par les sujets qui produisent **p** à l'aide de la règle "la lettre qui apparait le plus est conservée". Cette dernière, par contre, permet de considérer plus facilement **ip** et **ipp** comme solutions, basées sur le même principe, et dans une proportion quatre fois supérieure (.40) **pp** (*cf.* annexe 4).

		Prop. "vrai" r	Prop. "vrai" p	
Rép.	**r**	.96	.39	N = 28
	p	.30	.90	N = 20

Figure 35.9. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **9** concernant les propositions **r** et **p** selon les réponses **r** et **p** données par les sujets.

Notons tout de même que ce problème est le seul qui ne découle pas directement du matériel des problèmes de COPYCAT. Il est donc possible que l'énoncé ne permette pas suffisamment de différencier les niveaux d'abstraction possibles.

Problème 10 : eqe >> qeq, aaabccc >> ?

Le tableau 35.10. indique les proportions d'évaluations "vrai" concernant les propositions **bbbacbbb, baaacccb** et **bacb** selon que les sujets ont répondu **bbbacbbb, baaacccb** ou **bacb** :

		Prop. "vrai" **bbbacbbb**	Prop. "vrai" **baaacccb**	Prop. "vrai" **bacb**	
	bbbacbbb	1	.50	.42	N = 12
Rép.	**baaacccb**	.60	.93	.40	N = 15
	bacb	.71	.57	1	N = 7

Figure 35.10. Proportions d'évaluations "vrai" au problème **10** concernant les propositions **bbbacbbb, baaacccb** et **bacb** selon les réponses **bbbacbbb, baaacccb** et **bacb** données par les sujets.

La réponse **bbbacbbb** peut être obtenue en appliquant la règle "la lettre est triplée et inversée, les lettres triplées sont réduites et inversées". On prend le **b**, on le place aux extrêmes et on le multiplie en réduisant les lettres centrales. Si l'on essaie d'appliquer au plus près ce qui se passe dans **eqe >> qeq**, c'est la seconde réponse qui est privilégiée, **baaacccb**, dans laquelle on applique la règle "la lettre centrale est doublée et déplacée aux extrêmes". Ainsi, répondre **bbbacbbb** entraîne peu d'acceptation pour la proposition **qeq** (.08) alors que celle-ci est favorisée (.40) lorsqu'on répond **baaacccb.** La réponse **bacb**, quant à elle, est en quelque sorte le résumé des deux premières : on peut d'ailleurs

appliquer la même règle que pour **baaacccb**. Les trois réponses sont donc compatibles, plus encore quand on produit **bacb** et qu'on doit évaluer les deux autres. Par contre, **abbbc** est peu perçue à partir de ces réponses (de .13 à .25), étant située à un niveau très différent ("le nombre et la position des lettres sont intervertis si la chaîne est symétrique, le nombre des lettres est interverti si ce n'est pas le cas") (*cf.* annexe 4).

Nous pensons avoir mis en évidence le rôle que peut jouer la boucle perception-conceptualisation dans l'explication des résultats. Nous sommes conscients du fait qu'après avoir critiqué une certaine forme d'expérimentation (*cf.* **2**.), nous sommes peut-être allé beaucoup trop loin dans l'autre sens : en effet, chaque sujet avait un parcours de résolution différent, car la présentation des propositions était toujours aléatoire. Nous revendiquons néanmoins l'utilité de cette forme d'expérimentation pour mettre en évidence le pouvoir explicatif des processus postulés. Ainsi, malgré une analyse partielle des résultats par le manque de procédés statistiques conservant la dynamique de résolution, nous pouvons rendre compte en conclusion du comportement complet d'un sujet à l'aide des variables dépendantes que nous avons choisies, comportement explicable par les mécanismes dont nous avons fait l'hypothèse.

4.5. CONCLUSION : DES SUJETS GLISSANTS, UN RAISONNEMENT FLUIDE

> L'homme se conçoit intimement comme un créateur de symboles. Nous ne pouvons connaître ce qui se présente à nous si, de quelque manière, nous ne le convertissons en autre chose, et par conséquent le recréons. C'est le cœur même de la poésie : *Vision qui crée ce qu'elle voit.*
>
> Roberto Juarroz, 1994, p.221

Après les critiques expérimentales et théoriques d'une méthodologie que nous avons formulées en section **2**., nous voudrions tout d'abord rappeler certains points importants que nous avons essayer de respecter dans l'expérience, et justifier une fois de plus cette position :

(1) l'utilisation d'un micro-monde permet de pister plus clairement les processus que nous voulons étudier; les connaissances utilisables par les sujets sont réduites aux connaissances qu'ils ont sur les lettres et leur place dans l'alphabet. Par conséquent, si des connaissances supplémentaires sont utilisées, variables selon les sujets, nous estimons qu'elles représentent la partie la plus petite possible, ce qui n'est pas le cas lors de l'utilisation d'un matériel expérimental basé sur des textes, qui sont compris et utilisés de manière certes différentes selon les sujets, mais dont la variation repose en grande partie sur leurs connaissances initiales;

(2) notre objectif étant d'étudier ce qui nous semble naturel dans notre activité cognitive, des tâches dans lesquelles *une* bonne réponse est attendue et qualifiée de vraie ne sont pas à ce titre pertinentes; chaque réponse produite fut ici considérée comme vraie, même s'il est possible qu'elle soit très minoritaire dans l'ensemble des réponses des sujets, ou qu'elle soit très complexe; toutefois, notre expérience ne concernant pas directement la créativité potentielle des sujets dans leur recherche d'une réponse, les problèmes que nous avons utilisés nous ont permis de prévoir presque la totalité des réponses, et en tout cas de toutes les comprendre;

(3) l'étude de la fluidité conceptuelle exige une grande liberté des sujets dans leur activité de résolution; nous avons donc choisi un vaste matériel dans lequel peu de consignes sont données; cette liberté dans la production et l'évaluation de réponses se paie d'une analyse plus orientée vers l'analyse de protocoles individuels, encore peu favorisée et peu renforcée par des outils statistiques privilégiés; cette liberté accordée aux sujets est peut être trop grande; néanmoins, nous préférons cet extrême au premier, d'autant plus qu'il nous est permis, dans de futures recherches, de restreindre celle-ci ou de l'orienter tout en conservant les points (1) et (2).

Ainsi, après avoir conclu sur l'atteinte de nos objectifs, nous présentons un protocole individuel analysé en détail, totalement explicable — malgré la grande imprévisibilité du parcours inférentiel pouvant être suivi par le sujet — par les processus mis en évidence.

4.5.1. Analyse d'un protocole individuel

Prenons le sujet 35 (*cf.* annexe 5) qui a déjà été présenté dans la figure 29 et qui correspond au comportement attendu lors de l'analyse du processus de perception de haut niveau. Nous allons décrire son parcours et commenter ses choix à l'aide des processus de perception de haut niveau et de boucle perception-conceptualisation.
Ce sujet se trouve dans la condition expérimentale **122**, *i.e. Avec Rappel, Sans Exemple* et *Sans Ordre*. Les problèmes sont donc présentés dans l'ordre dans lequel ils ont été résolus.

Problème 2 : ijk >> ijl, lmfgop >> ?
Il répond **imfgoq** (à laquelle la règle "la dernière lettre devient son successeur" s'applique) et n'évalue "vrai" que la proposition correspondante **lmfgoq**, qui apparaît en 4ème position, en 3,9 sec. (le temps moyen de résolution est de 7,2 sec.). Cette réponse a d'ailleurs tendance à être favorisée en modalité R1 (ANOVA $F(1, 72) = 3{,}267$, $p < 0{,}08$). Deux autres propositions sont évaluées très rapidement "faux" : **lmfgqq** ("chaque lettre du dernier groupe devient le successeur de la dernière lettre" en 2,9 sec.) qui apparaît en 10ème position, et **kmfgop** ("la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, la première lettre devient son prédécesseur si ce n'est pas le cas" en 3,5 sec.) qui apparaît en 12ème position. La première proposition présentée est **lmfgop**, qu'il évalue "faux" en 16,6 sec.. Nous pouvons faire l'hypothèse, en plus du fait que c'est la première proposition qu'il évalue, qu'il peut alors s'apercevoir que ce n'est pas un "**i**", mais un "**l**" qui commence la proposition. Les propositions qu'il évalue "faux" en mettant du temps correspondent toutes les trois à des propositions similaires dans leur construction, qu'apparemment il ne comprend pas : **lnfhoq** ("chaque dernière lettre de chaque groupe devient son successeur" en 9,2 sec.) qui apparaît en 2ème position, **nohiqr** ("chaque groupe devient son successeur" en 10,4 sec.) qui apparaît en 6ème position et **lmefop** ("chaque lettre du groupe contenant la troisième lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, sinon chaque lettre de ce groupe devient son prédécesseur" en 12,3 sec.) qui apparaît en 11ème position. Toutes les trois sont basées sur une décomposition de la chaîne en *groupes*. On comprend alors qu'il évalue rapidement **lmfgqq** qui apparaît après **lmefop** (chaînes de deux groupes de trois lettres) et **lmfgqq** qui apparaît après **lnfhoq** et **nohiqr** (chaînes de trois groupes de deux lettres). Nous pouvons imaginer, aidé par le fait qu'il a un rappel de la question pouvant le favoriser

dans l'adoption d'une stratégie du type "la dernière lettre change", qu'il ne perçoit pas la façon de répondre aux énoncés par décomposition en groupes.

Problème 4 : aabc >> aabd, ijkk >> ?

Il répond **ijkl** ("la dernière lettre devient son successeur") et n'évalue "vrai" que la proposition correspondante **ijkl**, qui apparaît en 8ème position, en 2,9 sec. (le temps moyen de résolution est de 7 sec.). Cette réponse a d'ailleurs tendance à être favorisée en modalité R1 (ANOVA $F(1, 72) = 3{,}349$, $p < 0{,}08$). Manifestement, il conserve la stratégie supposée. Les propositions **djkk** ("la lettre non doublée à une extrêmité devient la lettre **d**" en 3,2 sec.) et **ijll** ("chaque lettre du dernier groupe devient son successeur" en 3 sec.) sont rapidement évaluées "faux", respectivement en 6ème et en 5ème position. On peut supposer que **ijll** est rejetée car elle est basée sur des groupes, très différente de la stratégie utilisée. En revanche, lorsque **hjkk** lui est présentée en 4ème position ("la lettre non doublée à une extrêmité devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédecesseur si ce n'est pas le cas"), il passe 21 sec. pour l'évaluer "faux". On comprend ainsi la rapidité avec laquelle il a évalué par la suite **djkk**, perçue probablement de façon similaire.

Nous pouvons donc penser qu'il reste sur sa stratégie, mais il a passé du temps à la fois sur les constructions en groupes et sur celles liées au sens alphabétique.

Problème 6 : abcm >> abcn, rijk >> ?

Il répond **rijl** ("la dernière lettre devient son successeur") et évalue "vrai" la proposition correspondante **rijl**, qui apparaît en 9ème position, en 13,7 sec. (le temps moyen de résolution est de 7,6 sec.). Mais il accepte aussi **rjkl** ("chaque lettre du dernier groupe devient son successeur" en 5,6 sec.) et **sijk** ("la lettre n'appartenant pas à un groupe successif devient son successeur" en 4 sec.) qui apparaissent respectivement en 5ème et en 10ème positions. Ce sont des réponses liées à une décomposition en groupes, et il les admet plus rapidement. En fait, **rikl** ("toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre devient son successeur"), présentée en 3ème position, est évaluée "faux" après 22 sec.. On peut faire l'hypothèse qu'il a perçu la décomposition en groupes à ce moment — cette chaîne peut être décomposée en deux groupes de deux lettres — mais qu'il n'était pas d'accord avec cette réponse. Quand **rjkl** et **sijk** sont présentées, elles sont alors évaluées "vrai" plus rapidement. Peut-être y voit-il d'ailleurs une meilleure réponse que la sienne, qu'il met du temps à évaluer "vrai". Nous pouvons envisager qu'il a pu renoncer à valider cette réponse, jugée probablement "moins bonne" après la perception de solutions jugées de meilleure qualité auxquelles il n'avait pas pensé lors de la phase de production de réponse.

Problème 3 : abc >> abd, abbccd >> ?

Il répond **abbcce** ("la dernière lettre devient son successeur") et évalue "vrai" la proposition correspondante **abbcce**, qui apparaît en 7ème position, en 5,6 sec. (le temps moyen de résolution est de 7,5 sec.). Cette réponse est d'ailleurs favorisée en modalité R1 (ANOVA $F(1, 72) = 6{,}688$, $p < 0{,}012$). Il accepte aussi **abbddd** ("la lettre c devient la lettre d" en 7,6 sec.) qui apparaît en 9ème position. Ici, nous pouvons penser qu'il garde la possibilité d'utiliser les groupes, mais qu'il ne trouve pas que cela donne une meilleure réponse dans ce problème — la proposition **abbcde** ("chaque lettre du dernier groupe devient son successeur") ayant reçue une évaluation "faux" après 23,6 sec..

Problème 10 : eqe >> qeq, aaabccc >> ?

Il répond **kkklmmm** (non répertoriée) et évalue "vrai" dans cet ordre (1ère, 3ème et 5ème positions) les propositions **bacb** ("la lettre centrale est doublée et déplacée aux extrêmes" en 13,9 sec.), **baaacccb** ("la lettre centrale est doublée et déplacée aux extrêmes" en 6,5 sec.) et **bbbacbbb** ("la lettre est triplée et inversée, les lettres triplées sont réduites et inversées" en 3,8 sec.), dont nous avons déjà vu les rapports qu'elles entretiennent (le temps moyen de résolution est de 6,8 sec.). Deux autres propositions sont évaluées "faux" et montrent un rejet d'une certaine stratégie de permutation, après avoir sans doute tenter une certaine justification autre que la simple permutation, non satisfaisante pour la chaîne **aaabccc** : ces propositions sont dans l'ordre **cccbaaa** (en 14,9 sec.) et **qeq** (en 1,5 sec.), respectivement en 9ème et 11ème positions. On peut penser que ce problème, très atypique, a pu quelque peu désorienter le sujet dans le choix d'une stratégie unique de résolution, qui ne s'applique pas ici.

Problème 9 : ooe >> o, riippp >> ?

Il répond **r** ("la première lettre est conservée") et évalue "vrai" la proposition correspondante **r** qui apparaît en 12ème position en 3,7 sec. (le temps moyen de résolution est de 6 sec.). Trois autres propositions apparentées, basées sur le nombre de lettres à conserver, sont également évaluées "vrai" : d'abord **i** ("la lettre doublée est conservée" en 5 sec.), puis **p** ("la lettre qui apparait le plus est conservée" en 11,2 sec.) et **ip** ("les catégories des lettres doublées sont conservées" en 11,2 sec.), respectivement en 7ème, 8ème et 9ème positions.

Problème 7 : rst >> rsu, mrrjjj >> ?

Il répond **mrrjjk** ("la dernière lettre devient son successeur") et évalue "vrai" la proposition correspondante **mrrjjk**, qui apparaît en 11ème position, en 3 sec. (le temps moyen de résolution est de 5,6 sec.). Il accepte aussi **mrsjjj** ("la troisième lettre devient son successeur" en 17,2 sec.) et **mrrkkk** ("chaque lettre du dernier groupe devient son

successeur" en 7,7 sec.) qui apparaissent en 4ème et 8ème position. La première, **mrsjjj**, est située à un niveau intermédiaire entre **mrrjjk** et **mrrkkk** : c'est la troisième lettre qui change, mais la chaîne devient aussi deux groupes de trois lettres. Il est possible que cette perception est entraînée l'acceptation de la proposition **mrrkkk**. Par ailleurs, **mrrjju** ("la dernière lettre devient la lettre **u**") fut très rapidement rejetée à la 12ème position (3 sec., comme **mrrjjk**). Dans ce cas, nous pouvons raisonnablement faire l'hypothèse qu'il préfère **mrrjjk** à **mrrjju**.

Problème 8 : mrs >> mrt, iiii >> ?

Il répond **iiij** ("la dernière lettre devient son successeur") et évalue "vrai" la proposition correspondante **iiij**, qui apparaît en 8ème position, en 5,3 sec. (le temps moyen de résolution est de 4,1 sec.). Il accepte aussi **iijj** ("chaque lettre du dernier groupe devient son successeur" en 7,7 sec.) qui apparaît en 3ème position. Un peu comme dans le problème précédent, il favorise comme réponse une solution *classique*, mais considère comme alternative les solutions basées sur des groupes, d'autant plus qu'il rejette rapidement des réponses basées sur une argumentation très différente : **mrt** ("toute chaîne devient **mrt**", en 2 sec.), **iiiii** ("a dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, le nombre de lettres devient son successeur si ce n'est pas le cas", en 2,2 sec.), **tttt** "chaque lettre de la dernière catégorie de lettre devient un successeur" en 1,9 sec.), et **iiim** ("la dernière lettre devient un de ses successeurs" en 2,2 sec., préférant probablement sa réponse **iiij**). Notons que la proposition **ijkl** ("toute chaîne devient une chaîne de taille équivalente et orientée alphabétiquement"), liée à un sens alphabétique, est rejetée après un plus long moment (11,1 sec.).

Dorénavant, le sujet semble conserver une stratégie du type "la dernière lettre change", tout en acceptant des propositions plus abstraites maintenant perceptibles.

Problème 5 : abcd >> abcde, mlkji >> ?

Il répond **nmlkji** ("toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre alphabétique à la suite de cette dernière lettre alphabétique") et évalue "vrai" la proposition correspondante **nmlkji**, qui apparaît en 1ère position, en 3,5 sec. (le temps moyen de résolution est de 5,2 sec.). Il accepte aussi **mlkjij** ("toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre" en 9,2 sec.) et **mlkji** ("toute chaîne devient la même chaîne suivie de la lettre alphabétique successive si le sens de l'alphabet est respecté" en 15,6 sec.) qui apparaissent en 6ème et 12ème positions. Le temps de réflexion pris pour évaluer ces propositions, notamment **mlkjij**, laisse penser qu'il hésite à garder sa stratégie de départ. La réponse qu'il a produite va d'ailleurs dans ce sens.

1 : lmn >> lmo, kji >> ?

Il répond **lji** ("la dernière lettre dans le sens de l'alphabet devient son successeur") et évalue "*faux*" la proposition correspondante **lji**, qui apparaît en 9ème position, en 2,7 sec. (le temps moyen de résolution est de 4,5 sec.). Mais il évalue "vrai" la proposition **kjk** ("la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son double successeur si ce n'est pas le cas" en 10,7 sec.), présentée en 5ème position, et la proposition **kjj** ("la dernière lettre devient son successeur" en 8,9 sec.), présentée en 2ème position. Peut-être a-t-il choisi de revenir à sa stratégie de départ (pour rester le plus cohérent possible ?) et valider **kjj** sans valider **lji**. Nous ne pouvons répondre à cette question.

L'important pour nous, c'est qu'il ait réussi à produire **lji**, et nous pouvons l'expliquer par le parcours qu'il a fait — 13 sujets seulement ont produit **lji**, dont le choix n'est pas influencé par les facteurs expérimentaux.

4.5.2. Faire apparaître *et* expliquer la fluidité conceptuelle

Les deux mécanismes peuvent expliquer le trajet évolutif du sujet dans une échelle bi-dimensionnelle perceptif—abstractif. N'oublions pas que le sujet 35, comme les autres sujets, passa dans un condition dans laquelle les modalités factorielles laissent une grande liberté — l'orientation vers une stratégie ne peut être due qu'à la modalité R1, peu influente; il a eu par conséquent un comportement peu prévisible au départ, mais que nous pouvons expliquer — par la perception de haut niveau et la boucle perception-conceptualisation — au fur et à mesure de la résolution. C'était notre objectif.

Contrairement à certaines expériences présentées dans la section **2**., les sujets avaient ici une grande liberté comportementale et non complètement prévisible. Peut-être ont-ils eu trop de liberté : nous aurions pu concevoir des expériences où les sujets passaient sous un ordre de présentation identique, et montrer qu'ils n'aboutissaient pas aux mêmes réponses. Inversement, nous aurions pu concevoir des expériences où les sujets passaient sous des ordres de présentation différents (mais contrôlés), et montrer qu'ils peuvent aboutir aux mêmes réponses. Nous avons préféré des conditions expérimentales dans lesquelles chaque sujet a un parcours différent... ce qui est cohérent avec nos critiques expérimentales et théoriques précédemment formulées, mais qui nous oblige à différer un certain nombre d'analyses, faute d'outils satisfaisants.

Burns (1996) a effectué des expériences sur le transfert qu'il nomme méta-analogique de réponses d'un problème à l'autre, en fonction de la prise en compte de certaines réponses à un problème antérieur. Les trois problèmes qu'il considéra furent "**abc** >> **abd, kji** >>

?", "**abc >> abd, mrrjjj >> ?**" et "**abc >> abd, xyz >> ?**". Il montrait déjà une asymétrie implicative des réponses à un problème vers les réponses à l'autre problème. Mais lorsque les sujets donnaient plusieurs réponses, il leur fallait indiquer leur préférence, et l'ordre des réponses n'étaient pas enregistrée.
Dans notre étude, l'aspect dynamique est exploré en laissant les sujets libres d'adopter une stratégie ou pas. Dans tous les cas — qui respectent bien sûr de la part du sujet la recherche d'une solution et non une distribution aléatoire de réponses —, les chemins de résolution peuvent être expliqués par les deux mécanismes mis en évidence. Nous avons ainsi respecté les conditions d'élaboration d'une expérience favorisant autant que faire se peut une fluidité de la part des sujets. De plus, la plupart des sujets ont "joué le jeu" : seulement 10% ont considéré qu'une seule réponse par problème est suffisante. Ce type de comportement, ou de choix expérimental, n'est d'ailleurs pas contre l'existence des mécanismes évoqués : nous avons déjà signalé qu'être fluide — ou être glissant, *i.e.* percevoir des réponses différentes — n'est pas toujours adéquat, et n'est sûrement pas toujours indispensable. Mais permettre la fluidité lors d'une expérience est pour nous une condition nécessaire à une interprétation non biaisée des résultats qu'elle fournit. Ce faisant, une théorie suffisamment générale est tout autant indispensable pour expliquer le comportement fluide quand il apparaît — notamment si l'on souhaite généraliser nos résultats.

Nous défendons l'idée que ces processus sont mis en œuvre dans les nombreuses activités faisant appel à cette fluidité (*cf.* **1.3.**). En effet, le micro-monde utilisé nous permet d'insister sur l'influence minime des connaissances personnelles dans la résolution de la tâche : les sujets ne devaient utiliser que des connaissances assez basiques sur les lettres de l'alphabet, et savoir compter au moins jusqu'à 5. En d'autres termes, ils étaient comparables au vu de leurs connaissances utilisées sans pour autant faire preuve du même comportement de résolution.
De plus, la perception d'analogies, finalement intégrée dans ce qu'Hofstadter a nommé la perception de haut niveau, est tout autant impliquée dans de nombreuses activités cognitives (*cf.* **1.2.**). La boucle perception-conceptualisation en est d'ailleurs un corollaire : cette boucle représente une réitération continue du mécanisme de perception abstraite. En fait, nous percevons un phénomène d'une certaine façon (ou à un certain niveau d'abstraction), qui nous fait percevoir le phénomène suivant d'une certaine façon, etc.

En conséquence, nous voulons présenter maintenant un cadre théorique général basé sur la perception d'analogies et intégrateur des résultats sur le raisonnement. Nous défendons l'idée que tout raisonnement procède par cette réitération perceptive qui restreint ou

élargit, au fur et à mesure de la résolution, les champs conceptuels dans lesquels va être rechercher la solution. En conséquence, le raisonnement constitue dans ce cadre une *succession de filtres à analogies*.

5. Pour une théorie analogique du raisonnement

> — Vous en avez le droit, à peu près comme les cochons ont le droit de voler, dit la Duchesse...
>
> Lewis Carroll, 1865, tr. fr. 1963, p.112

La défense d'un cadre théorique *unificateur* et *intégratif* des travaux portant sur le raisonnement repose sur le fait que des résultats issus des travaux sur la résolution de problèmes divergent quant à leur explication, malgré une tentative de plus en plus répandue de construire une théorie *générale* du raisonnement. En effet, selon les théories présentées, des brèches explicatives spécifiques apparaissent. Il nous semble pourtant possible d'élaborer un cadre théorique suffisamment large pour intégrer le plus de résultats en limitant le nombre de brèches — tout au moins en démontrant que ces brèches ne proviennent pas des mécanismes sous-jacents. Deux sources de difficulté doivent alors être prises en compte.

(1) Il existe dans la littérature différentes formes de raisonnement. Nous soulignons que cette distinction est exclusivement *théorique* . Nous défendons une vision analogique du raisonnement, qui s'appuie sur l'idée d'un continuum représentant un degré de certitude partant d'une élaboration d'hypothèse par observation de similitudes à la recherche d'une conclusion par déduction, en passant par l'accumulation de faits par induction.

(2) De nombreuses recherches portant notamment sur l'étude de problèmes isomorphes et sur l'expertise mettent en avant le rôle de la contextualisation des connaissances face à des situations préalablement rencontrées. Une notion importante, le point de vue, permet une focalisation partielle sur la situation qui aboutit à une activation limitée de certaines procédures généralement efficaces dans des problèmes similaires. Ainsi, tout raisonnement procède sur la base des connaissances disponibles et activées en fonction du contexte de la situation.

L'architecture cognitive que nous défendons est basée sur la construction dynamique de réseaux de connaissances reliées par analogie, dont certains liens peuvent être renforcés par l'expertise. Cette conception est compatible à la fois avec la construction et l'évolution de réseaux de connaissances et avec les mécanismes que nous avons mis en évidence. En

conséquence, l'architecture cognitive sous-tendant l'activité de raisonnement étant basée sur la perception d'analogies, il nous semble prometteur de définir l'activité inférentielle comme une *succession de filtres à analogies* ayant pour effet de limiter les connaissances activées en fonction (1) du *point de vue* porté par l'individu sur le problème, (2) d'une *fermeture de l'espace conceptuel* dans lequel celui-ci va rechercher la solution et (3) de son *niveau d'expertise* au sein de cet espace conceptuel.

5.1. LA NÉCESSITÉ D'UNE THÉORIE UNIFIÉE DU RAISONNEMENT

Un homme qui puisse enfin réconcilier Dieu avec Satan, c'est-à-dire l'esprit avec lui-même.

Michel Rio, 1989, p.46

Les recherches sur le raisonnement se sont orientées d'une explication "de ce qu'il faut faire" vers une explication "de ce qui est fait" par les individus — *i.e.*, de "comment bien raisonner ?" à "comment raisonne-t-on ?" (Caverni, George & Politzer, 1994).

Dès la fin du XIXème siècle, lorsque les fondements de la logique furent mis en place, la volonté d'expliquer les lois de la pensée à l'aide de procédures logiques fut grandissante; ainsi, Marcel Guillaume définit, dans son chapitre historique, la logique de la manière suivante : «la logique a pour objet l'étude des formes que revêt la pensée dans l'efficace de sa fonction de connaissance, et des lois qui conditionnent cette efficience. Le domaine de la logique formelle, plus étroit, est celui de l'inférence» (Guillaume, 1986, p.417). Ce souhait d'expliquer les lois de la pensée inférentielle dans un formalisme logico-mathématique se précisa à la naissance de l'intelligence artificielle (voir section **3**.), car il était alors possible de créer un système qui raisonne logiquement, et de le comparer aux performances humaines. Les études se focalisèrent alors sur l'explication des raisonnements de type scientifiques, essentiellement déductifs (Byrne, 1997; Georges, 1997), pour comprendre si l'homme, dont la pensée pouvait être simulée logiquement par ordinateur, possédait des structures de connaissances logiques et s'il pouvait facilement les utiliser.

Malgré une vision de l'homme logiquement rationnel et la volonté d'expliquer les comportements en termes de "vérité" logique, la présence d'erreurs logiques fréquentes et d'heuristiques mirent en défaut une explication exclusivement logique du raisonnement : l'homme peut raisonner en utilisant de nombreux raccourcis inférentiels généralement efficaces mais la plupart du temps non valides (Tversky & Kahneman, 1974; Legrenzi & Sonino, 1998), et peut fournir des solutions logiquement valides sans utiliser de règles logiques (Georges, 1993). De plus, de récents travaux portant sur l'expertise — l'expert d'un domaine de connaissances pouvant être considéré comme un spécialiste du raisonnement — ont mis en évidence le fait que les experts ne "raisonnent pas", si l'on s'en tient à une définition logique du raisonnement : ils activent les *bonnes* connaissances face à des problèmes repérés en sélectionnant les *bons* indices (Bastien, 1997).

Ainsi, d'une vision logique et déterministe du raisonnement, procédant étape par étape, émerge une vision plus dynamique du raisonnement, où de nombreux facteurs "non-logiques" — comme les consignes, l'habillage différent de problèmes isomorphes, la représentation du problème que se fait l'individu, le but recherché — influencent le cours et l'aboutissement d'une inférence (Ripoll, 1998b). En conséquence, face à un problème, la question n'est plus de savoir "comment bien raisonner ?" mais "sur quoi porte le raisonnement", et de déterminer les indices sélectionnés et les connaissances utilisées pour que celui-ci soit efficace dans le contexte où il a lieu. La difficulté reste alors de pouvoir intégrer les différents résultats dans un cadre unique d'interprétation. Nous évoquons plusieurs exemples, dans le domaine de la résolution de problèmes et dans le domaine de l'expertise, montrant que cette synthèse théorique reste problématique, en particulier si nous conservons une distinction théorique entre les différentes formes du raisonnement. Après avoir éliminé cette distinction, les différences de performances liées aux activations de connaissances restent le principal obstacle à un cadre théorique général du raisonnement. L'architecture que nous défendons jusqu'ici, basée sur la construction de réseaux de connaissances reliées par analogie, permet une vision globale du raisonnement dans laquelle il nous paraît possible d'intégrer les nombreuses formes du raisonnement sous un mécanisme commun de recherche de solution.

5.1.1. Des formes de raisonnement

Christian George (1997) parle de *polymorphisme du raisonnement humain.* Ce polymorphisme pourrait signifier que selon les situations auxquelles nous sommes confrontés, *i.e.* selon les problèmes que l'on doit résoudre, l'individu utiliserait une forme de raisonnement particulière qui serait adaptée à la situation. Par exemple, on utiliserait un raisonnement de type déductif lorsque la recherche d'une conclusion valide s'avère indispensable, un raisonnement de type inductif lorsqu'un degré de validité approximatif suffit, un raisonnement de type abductif lorsque l'on doit rechercher la meilleure explication causale d'un phénomène, ou d'autres formes de raisonnement lorsque les informations dont nous disposons sont incertaines ou lorsqu'elles prennent place au sein d'un certain "bon sens" — nous pensons en particulier à l'utilisation d'heuristiques ou au transfert analogique dès qu'un problème reconnu a déjà été résolu avec un certain succès. En fait, cette distinction *théorique* entre raisonnements a conduit de nombreux auteurs à rechercher une explication psychologique pour chacun d'entre eux, et à élaborer des théories centrées sur une de ces formes en tentant d'élargir le principe explicatif à d'autres formes. Nous en présentons brièvement quelques-unes.

Des théories partielles

La *théorie des modèles mentaux* représente un bon exemple de cette tentative d'unification. Conçue pour représenter *la* théorie de *la* science cognitive, *i.e.* une explication psychologique des faits basée sur un même principe théorique cohérent, Philip Johnson-Laird (1980, 1989b, 1993) s'appuie sur la formulation moderne de modèle mental (Craik, 1943) : les événements externes du monde deviennent des représentations internes symboliques sur lesquelles nous pouvons raisonner en les manipulant. Ces modèles de la réalité se construisent à partir de la perception, puis sont transformés à l'aide d'inférences, aboutissant à des conclusions sur lesquelles un organisme intelligent pourrait se baser pour agir. Le modèle mental est alors une représentation analogique du monde, non propositionnelle. Malgré le souhait fédérateur sous-jacent, le raisonnement déductif[55] fut principalement étudié et procède de la manière suivante (Johnson-Laird & Byrne, 1991, 1993) : (1) en cherchant à comprendre les prémisses du problème à l'aide de ses connaissances, l'individu construit des modèles possibles de la situation; (2) il formule alors une conclusion provisoire en identifiant une relation entre ces modèles; (3) il recherche alors d'autres modèles pouvant falsifier cette conclusion, et conclut à sa validité s'il n'en trouve pas. Par conséquent, les problèmes les plus difficiles à résoudre sont ceux qui vont exiger la construction d'un grand nombre de modèles. De nombreux résultats corroborent les hypothèses avancées pour expliquer certaines erreurs dans ce cadre théorique (Girotto, 1993; Byrne & Handley, 1997) et élargissent le champ d'application de la théorie : l'induction (Johnson-Laird, 1994; da Silva Neves, 1994), le raisonnement temporel (Schaeken, Johnson-Laird & d'Ydewalle, 1996) les illusions inférentielles (Johnson-Laird & Goldvarg, 1997), le raisonnement modal (Johnson-Laird & Bell, 1997). Ainsi, certaines erreurs "logiques" peuvent être expliquées en faisant référence aux connaissances de l'individu qui orientent la construction d'un modèle mental de la situation à laquelle il est confronté.

Cette recherche d'une explication des erreurs de raisonnement eut lieu en réaction à une théorie axée sur les capacités exclusivement logiques des individus. En effet, la *théorie de la logique mentale* (Braine, 1978) soutient que le système cognitif possèderait des règles formelles d'inférence qui, par définition, dépendraient de la forme syntaxique des énoncés des problèmes et non de leur contenu sémantique. Le raisonnement étudié fut alors principalement le raisonnement propositionnel, correspondant à l'utilisation de règles formelles de la logique des propositions. Cette théorie très limitée se heurta, semble-t-il, à la falsification de son principal argument : le contenu sémantique des énoncés intervient

[55] La majorité des résultats porte sur la déduction, principalement étudiée en partie à cause de résultats souvent médiocres de la part des sujets, l'objectif étant alors d'expliquer pourquoi il y avait tant d'erreurs.

dans l'utilisation de ces règles (logiques). Un exemple en est donné par la fameuse “tâche de sélection” de Peter Wason (1966), qui aboutit à de très grandes variations de réponses correctes en fonction justement du contenu sémantique de l'énoncé (voir, par exemple, Dominowski, 1995; nous y reviendrons en **5.2.1.**). Bien qu'il soit possible de maintenir l'utilisation de règles formelles en défendant le fait qu'une mauvaise sélection d'indices ou qu'une mauvaise compréhension de la tâche entraîne une mauvaise utilisation de ces règles (voir, par exemple, Bringsjord, Noel & Bringsjord, 1998) — dans ce cas, la théorie expliquerait les mauvaises performances —, ainsi qu'une conception d'une logique mentale qui ne soit pas standard (O'Brien, 1995), la théorie n'explique pas comment les sujets réussissent la tâche lorsque seul le contenu change.

Une autre théorie, les *schémas pragmatiques* (Cheng & Holyoak, 1985), propose que l'on a recours à des structures de connaissances organisées et employées pour évaluer des situations pratiques. Ces structures particulières, entre des connaissances spécifiques et des connaissances abstraites (comme les règles formelles d'inférence), pourraient expliquer certains effets du contenu des énoncés lorsque l'individu est confronté à ce que Georges (1993) nomme le “raisonnement pratique”. Par exemple, on utilise la connaissance du fait que procéder à une action nécessite de remplir une condition, comme se faire vacciner quand on entre dans un pays (schéma d'obligation) ou être à la retraite pour bénéficier d'une pension (schéma de permission). Cette théorie rend intégrables dans l'explication certains effets de contexte sémantiques, mais reste limitée au raisonnement conditionnel.

Enfin, la *théorie de la pertinence* peut apporter quelque chose dans le domaine du raisonnement, dont elle n'est pas issue (Sperber, 1997; Sperber, Cara & Girotto, 1995). Cette théorie générale soutient que la construction d'une représentation de la situation doit être pertinente dans au moins un des contextes accessibles au moment du traitement, et que ce traitement doit satisfaire deux conditions : une maximisation de la pertinence (apport d'informations nouvelles) et une minimisation du coût cognitif (peu d'efforts pour l'obtenir). En matière de raisonnement, l'application de la théorie apporta une explication globale de la résolution de la tâche de sélection en rendant compte de plusieurs résultats difficilement explicables avec un autre principe explicatif. Néanmoins, les auteurs ne peuvent écarter d'autres théories dans l'explication d'autres raisonnements moins contextualisés, et ne semblent d'ailleurs pas le souhaiter (Sperber, Cara & Girotto, 1995).

Georges (1997) souligne ainsi l'incessant va-et-vient entre un principe de parcimonie (la recherche d'une explication simple) et les différentes formes de raisonnement (qui permettent une fiabilité et une adaptabilité de nos réponses), et refuse de trancher entre les

théories car aucune n'est exhaustive : elles ne rendent compte que de certains phénomènes expérimentalement choisis et n'expliquent pas clairement une variabilité inter-individuelle importante (voir aussi Tweney & Chitwood, 1995). Même la théorie des modèles mentaux est incomplète : elle ne donne pas les moyens de connaître le nombre de modèles construits et leur nature exacte (Gineste & Indurkhya, 1993; Oléron, 1995) et ne peut se passer de règles formelles lorsque l'individu doit conclure (Politzer, 1992; voir aussi Yule, 1997). Ainsi, le débat évoqué par Wason (1971) est toujours d'actualité concernant le fait de savoir si un mécanisme du raisonnement est possible malgré les diverses formes qu'il peut prendre et les nombreux facteurs (logiques ou pragmatiques) qui peuvent l'influencer.

Tout raisonnement est basé sur des similitudes

Nous pensons qu'une première réponse à l'élaboration d'un cadre unique d'interprétation, intégrant les différents résultats et l'influence de différents facteurs, est de ne plus distinguer les formes de raisonnement (Kokinov, 1994; Cornuéjols & Ales-Bianchetti, 1998; de Viviés, 1999a; Polge & Vivicorsi, 1999). En effet, cette distinction, formelle, n'a pas été prouvée comme *psychologiquement* pertinente (Georges, 1997). En nous appuyant sur une réflexion de Jacques Picard (1937), nous voudrions proposer une vision du raisonnement basée sur les similitudes[56] et établir un continuum de probabilité de vérification d'hypothèses allant de l'hypothèse simple d'une analogie entre deux phénomènes observés à une conclusion par déduction.

Les différents types de raisonnement classiquement pris en compte (*i.e.*, inductif, déductif et analogique) sont, selon Picard (1937), fondés sur des similitudes, qui sont ensuite transformer en identités. La distinction classique séparant ces formes de raisonnement, basée sur l'idée de méthode — respectivement du particulier au général, du général au particulier et du particulier au particulier — est alors remplacée par un degré de certitude du raisonnement lié à sa valeur logique.

Nous pouvons alors positionner ces formes de raisonnement sur un continuum représentant une échelle de certitude du raisonnement considéré, allant d'une simple perception de similitudes, au plus bas de l'échelle, au raisonnement déductif, en passant par le raisonnement inductif (figure 36).

[56] Il est d'ailleurs intéressant de noter que l'ouvrage de Georges (1997) concernant "la flexibilité de l'activité inférentielle" (sous titre du livre) considère comme déplacé le raisonnement par analogie dans ce cadre. Deux options sont possibles : soit cette forme de raisonnement est trop "vague" ou trop peu étudiée et formalisée, soit elle est toujours présente — ce qui expliquerait la première option. Cette seconde option, que nous choisissons et que nous allons préciser, pose finalement la question de savoir si l'on peut raisonner sans percevoir des analogies.

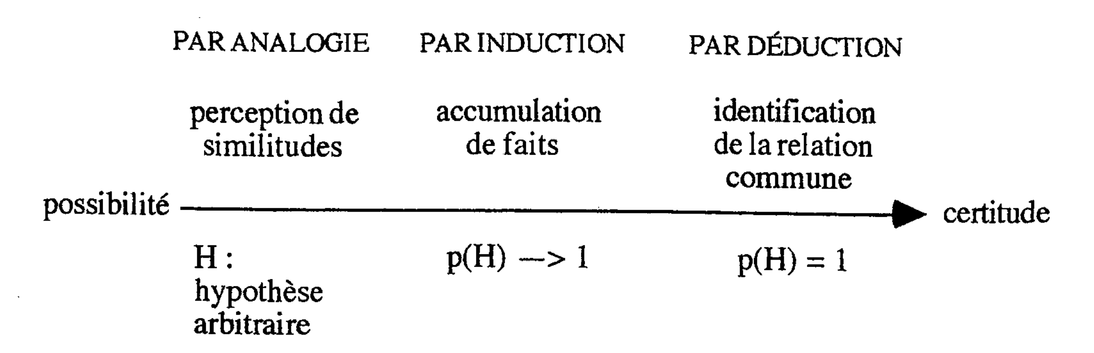


Figure 36. Description du continuum représentant les différentes formes classiques du raisonnement en fonction du degré de certitude (d'après Picard, 1937).

Ainsi, partant d'une hypothèse posée au hasard *par analogie*, nous tentons de lui enlever son caractère arbitraire en accumulant une succession de faits *par induction* allant dans le sens de l'hypothèse (dans ce cas, la probabilité de l'hypothèse tend vers 1), puis/ou en identifiant *par déduction* les relations communes entre ces faits (dans ce cas, la probabilité de l'hypothèse est égale à 1).
Prenons un exemple courant :

un homme meurt	*d'autres hommes*		*tout homme est mortel*
puis un autre	*meurent*		*Socrate est un homme*
(observation)	(observations)	(loi)	Socrate est mortel

Une première observation d'un homme qui meure, puis d'un autre homme qui meure, nous permet de percevoir une ressemblance entre les deux phénomènes et d'envisager une hypothèse pour l'expliquer. Si nous pensons à une explication comme “l'homme est mortel”, la probabilité de cette hypothèse est ici proche de 0 puisque nous n'avons finalement qu'une seule observation. Cette probabilité va tendre vers 1 au fur et à mesure que d'autres exemples similaires vont être accumulés. Nous pouvons alors conclure que “les hommes sont mortels”, mais nous ne pourrons jamais en être certains étant donné l'impossibilité de vérifier ce phénomène de façon exhaustive. Si, par contre, nous prenons connaissance d'une loi qui énonce “tout homme est mortel”, nous sommes alors capables de conclure avec une probabilité égale à 1 que “si X est un homme, alors il est mortel”. Ainsi, dans un premier temps (non obligatoire si nous avons connaissance d'une loi qui régit le phénomène), nous tentons d'éliminer le hasard dans l'affirmation “l'homme est mortel” en accumulant des faits. Dans un second temps, sachant une loi, nous identifions la relation commune qui existe entre l'affirmation de la loi et l'exemple pris pour l'appliquer, c'est-à-dire le rapport qui permet à partir d'une loi de conclure sur un fait précis. Ici, c'est parce que *homme* de “tout homme est mortel” et *homme* de “Socrate est un homme” sont en rapport que la conclusion peut être faite : en d'autres

termes, on identifie le petit terme (sujet de la proposition à démontrer) à un terme plus général que l'on sait lié au grand terme par une implication.

Cette élaboration d'hypothèses à partir d'analogies n'est pas nouvelle (voir Gineste, 1997) et le continuum fut déjà évoqué : ainsi, Georges (1997) rappelle que pour l'individu, une conclusion déductivement invalide peut être inductivement forte, et parle d'une filiation possible entre les différentes formes du raisonnement.
Nous pouvons alors définir le raisonnement comme basé sur la perception d'analogies, qui rend possible l'évocation d'une hypothèse que l'on cherche ensuite, à divers degrés de certitude, à accepter. Nous allons maintenant nous intéresser plus précisément aux facteurs liés à l'organisation des connaissances pouvant modifier cette activité inférentielle.

5.1.2. Une organisation des connaissances

Tout raisonnement s'élabore avant tout à partir des connaissances alors disponibles. De nombreux travaux ont ainsi mis en évidence des effets liés plus particulièrement à l'activation des connaissances utilisées dans le raisonnement considéré, en fonction du contexte de la situation et du niveau d'expertise (Bastien, 1997).

Le rôle du point de vue

Des travaux ont ainsi mis l'accent sur le rôle joué par l'interprétation des consignes dans une tâche de résolution de problèmes, liée à l'habillage du problème (sa description sémantique). La présentation de problèmes isomorphes à la Tour de Hanoï, par exemple, a permis de mettre en évidence un niveau de difficulté différent alors que, par définition, ces problèmes sont logiquement identiques. L'explication première de cette difficulté fut établie en termes de charge mentale (Kotovsky, Hayes & Simon, 1985). Cependant, les problèmes isomorphes n'étant pas perçus comme tels par les sujets, une explication complémentaire, en termes de *point de vue* (Clément, 1994, 1996; de Viviès, 1999b) fut avancée : une certaine perception sémantique de la tâche serait privilégiée, entraînant l'utilisation de procédures plus ou moins adaptées au problème. Un exemple emprunté à Richard (1984) illustrera ce phénomène :

> Un train part du point A vers le point B et doit parcourir 60 kilomètres à la vitesse de 30 km/h. Une mouche part au même moment du point B et à chaque fois qu'elle rencontre le train, repart vers le point B, puis revient vers le train, etc., à une vitesse de 120 km/h. Combien de kilomètres a-t-elle parcouru lorsque le train arrive au point B ?

Si l'on perçoit le problème comme un problème de *distance*, un très long calcul sera nécessaire pour aboutir à la solution. Si on le perçoit comme un problème de *temps*, du fait que le train mettra deux heures de A à B et que la mouche va à 120 km/h, elle aura effectué 240 km.

Ainsi, le point de vue que l'on peut avoir sur une situation, pouvant être induit par un contexte expérimental, va sélectionner les connaissances que l'on juge nécessaires à la résolution du problème, et du même coup les procédures que l'on va choisir pour aboutir à la solution (Richard, 1994). Ce phénomène est d'autant plus important qu'il participe à une explication de l'évocation des connaissances en matière de raisonnement par analogie (Antoni, Bourrelly, Pélissier & Ripoll, 1996; Antoni, 1997), évocation qui a toujours été le problème central dans le compte rendu de ce type de raisonnement (Ripoll, 1993).

Inversement, les connaissances antérieures vont avoir un effet sur la sélection du point de vue (Bastien, 1997). Dans le cas où le point de vue adopté n'est pas pertinent et n'aboutit donc pas à une solution satisfaisante, le sujet doit alors «inhiber les connaissances antérieures qui sont activées par le contexte afin de pouvoir percevoir et concevoir des éléments de la situation rendus "invisibles" par ces connaissances» (Clément, 1996, p.439). Nous avons déjà évoqué la difficulté de changer de point de vue lorsque toutes les possibilités de résolution d'un problème avaient échoué (Cauzinille-Marmèche & Vivicorsi, 1998). Ce problème est lié à la façon dont sont construites les connaissances : plus qu'une amélioration d'une procédure connue par l'ajout d'un élément nouveau, ce phénomène semble plus être expliqué par une restructuration des connaissances qui peuvent modifier les stratégies déjà apprises (Bastien, 1984, 1994). Cette restructuration, étant élaborée en fonction des contextes des problèmes rencontrés, va rendre plus pertinentes certaines procédures qui se sont avérées efficaces dans un type de contexte. Aussi, si le contexte favorise un certain point de vue, il va favoriser certaines stratégies de résolution au détriment d'autres stratégies peut-être plus adaptées. Le changement de point de vue nécessite dans ce cas une recherche en amont de connaissances non activées au départ car construites sur la base de contextes différents ou perçus différents.

En conséquence, dès que la résolution exige la recherche d'informations pertinentes comme données du problème, le point de vue sert à sélectionner à travers nos réseaux de connaissances les procédures qui nous semblent adéquates (Richard, 1984). Ces situations se produisent surtout lorsque les problèmes ne sont pas bien définis, *i.e.* que tous les états possibles ne sont pas dérivables de l'énoncé, et que le passage d'un état initial (le problème) à un état final (la solution) n'est pas clair. Les raisonnements pratiques (ou quotidiens, Georges, 1993; Caverni, Georges & Politzer, 1994), majoritaires dans notre activité inférentielle, en font partie, dans lesquels il faut souvent sélectionner les informations pertinentes, déterminer la finalité du problème et formuler

une conclusion, même incertaine. Mais nous retrouvons ces conclusions sur le rôle de l'organisation des connaissances dès lors que nous sommes en présence de travaux portant sur l'expertise.

Le problème de l'expertise

Un expert «peut être défini comme la personne qui, dans un domaine particulier, produit des performances (observables) et possède, de ce fait, des compétences (supposées), que (très) peu de personnes produisent et possèdent spontanément, à tout le moins avec une fiabilité raisonnable» (Caverni, 1988, p.114). Ainsi, nous pouvions nous attendre à ce que le raisonnement d'un expert soit basé sur l'activation de structures formelles abstraites que son apprentissage dans le domaine considéré lui a permis d'acquérir. Mais si tel est probablement le cas lors de l'acquisition, il s'est avéré, lors de la résolution d'un problème, que l'expert "ne faisait qu'activer les connaissances pertinentes en fonction de la situation" — en d'autres termes, qu'il ne raisonnait pas de manière logiquement descriptible (Bastien, 1994, 1997). La construction de systèmes experts, basés sur cette hypothèse et élaborés le plus souvent à partir de protocoles verbaux d'experts interrogés, se heurta à la difficulté de mettre en œuvre cette sélection des éléments pertinents qui varie selon les situations (Cordier, 1984; Ganascia, 1985; Laurière, 1986; Raccah, 1991; Pomerol, 1993). Et cette sélection est déterminée par une interprétation de la situation faisant intervenir à la fois ce que les experts savent faire dans ce type de situation (Hoc & Amalberti, 1994; Richard, 1994) et ce qui ne semble pas pertinent dans cette situation (Lévy, 1994).

Le raisonnement d'un expert est donc supporté par une sélection de stratégies de résolution à partir de connaissances disponibles et activées en fonction du contexte. Par exemple, il a été démontré par une étude sur le mouvement oculaire de radiologues de différents niveaux d'expertise, que les radiologues hospitaliers (experts) recherchent une configuration connue et ne suivent pas un parcours oculaire correspondant à un raisonnement prévisible. De plus, leurs performances sont plus faibles que les étudiants en radiologie (novices) lorsqu'on leur présente des poumons sains à diagnostiquer (Myles-Worsley, Johnston & Simons, 1988). De nombreuses recherches confirmèrent ce type de résultats : l'expertise est très contextualisée et fait que dans une situation que l'expert reconnaît, sa performance est toujours plus rapide et plus efficace. Il n'a ainsi besoin que de quelques éléments de surface pour activer les bonnes procédures qui furent élaborées à partir de connaissances plus abstraites mais qui sont dorénavant moins utiles (Alengry, 1988). Ainsi, à force de résoudre certains types de problèmes, les experts deviennent effficaces au fur et à mesure que leur connaissance experte se contextualise — cette dernière peut d'ailleurs être tellement contextualisée qu'ils subissent cette

contextualisation lorsque le problème ressemble à un problème qu'ils connaissent : dans ce cas, les novices peuvent accéder à une solution efficace à un moindre coût, alors que les experts se focalisent sur une stratégie habituellement efficace et peinent à changer leur diagnostic (Frensch & Sternberg, 1989; Besnard & Bastien-Toniazzo, 1999).

Selon Bastien (1997), les connaissances des experts sont organisées sous forme de contextes fonctionnels équivalents à des points de vue. Ces contextes leur permettent d'activer des modèles causaux restreints correspondant à la résolution du problème rencontré, évitant ainsi le problème de l'explosion combinatoire. Ces modèles sont si prégnants qu'ils peuvent aboutir à voir ce qui n'existe pas si le contexte est par trop d'indices reconnu comme un contexte fonctionnel (voir aussi Tijus, Richard & Leproux, 1996). Ils sont élaborés à partir de l'expérience évolutive dans le domaine d'expertise qui forme des liens entre des connaissances souvent requises en même temps. C'est également pour cette raison que les différences inter-individuelles entre experts sont importantes, le processus de construction de ces connaissances étant la cause de ces différences (Bastien, 1997).
En conséquence, les différentes formes du raisonnement n'étant plus une source de difficulté, nous devons expliquer le mécanisme inférentiel permettant la sélection des connaissances en fonction du contexte de la situation, du problème à résoudre et du niveau d'expertise de l'individu.

5.2. LE RAISONNEMENT : UNE SUCCESSION DE FILTRES À ANALOGIES

> — *J'ai* mangé des œufs, bien sûr, dit Alice, qui ne savait pas mentir, mais les petites filles mangent des œufs comme les serpents, vous savez!
> — Je ne crois pas, dit le Pigeon, mais si c'est vrai, eh bien! c'est qu'elles sont une espèce de serpent, voilà tout.
>
> Lewis Carroll, 1865, tr. fr. 1963, p.68

Nous avons vu, en section **2.**, que les conceptualisations et la construction des connaissances pouvaient être considérées comme basées sur une perception d'analogies, les analogies représentant alors les liens entre objets du monde (d'où émergent les concepts) et les liens entre connaissances (activées dans la résolution d'un problème). Nous pouvons alors imaginer une architecture basée sur la construction de nouveaux liens au fur et à mesure de l'apprentissage de concepts et sur le renforcement de certains autres au fur et à mesure de l'acquisition d'une expertise dans un domaine.
Les différences inter-individuelles peuvent alors être représentées par des liaisons différentes entre connaissances différentes selon les individus, au fur et à mesure de leur expérience; l'apprentissage peut créer de nouveaux liens, l'expertise en renforcer ou diminuer certains, tout en sauvegardant le fait que les réseaux peuvent se modifier considérablement (après un changement de point de vue, par exemple). Cette architecture respecte ainsi les différents effets rapportés : l'influence du contexte, l'influence de la représentation du problème et l'influence du niveau d'expertise.
Nous pensons que le mécanisme inférentiel peut alors être considéré comme une succession de filtres à analogies permettant la sélection des connaissances jugées pertinentes par l'individu. Cette pertinence subjective va dépendre du point de vue qu'il porte sur la situation, de la représentation qu'il se fait du problème à travers ce point de vue, et des compétences acquises par expertise pour résoudre ce type de problème.

Nous présentons une description possible du raisonnement à l'intérieur de cette architecture cognitive : la perception de haut niveau peut alors être considérée comme le processus par lequel certaines connaissances vont être sélectionnées et activées en fonction de filtres *successifs* qui sont : le point de vue, la fermeture et le niveau d'expertise. Nous illustrons chacun de ces filtres par une expérience célèbre dans laquelle chacun d'entre eux peut être préciser.

5.2.1. Le premier filtre : le point de vue

Le point de vue est le premier filtre qui va restreindre les analogies considérées, donc les connaissances activées. Plusieurs définitions du point de vue sont disponibles dans la littérature, sans qu'aucune ne soit véritablement consensuelle (voir Nonnon, 1998). Généralement, il est considéré comme “une façon de voir les choses”. Nous précisons comme suit le sens où nous l'utilisons :

> Le point de vue est l'état préalable de connaissances (justifiées ou pas) possédées par l'individu en fonction de son expérience passée.

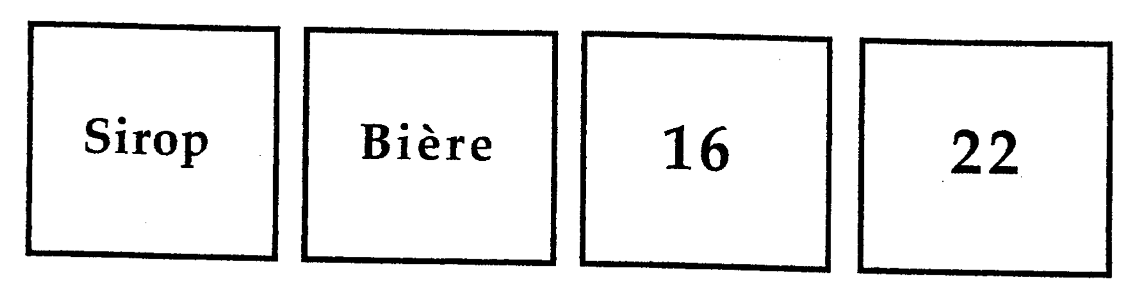
En résolution de problèmes, le point de vue correspond donc à l'état de connaissances de l'individu avant qu'un problème ne lui soit présenté. Cet état de connaissances préalable à la résolution du problème va jouer le rôle de contexte interne et délimiter une première sélection dans les connaissances disponibles, sélection pouvant être influencée par des aspects motivationnels, émotionnels ou pathologiques qui interviendraient, selon nous, dès ce niveau.

L'exemple que nous avons choisi pour illustrer le rôle du point de vue est celui des performances à la tâche de sélection. Conçue en 1966 par Wason, cette tâche logique avait pour but de savoir si spontanément les sujets pouvaient raisonner de façon déductive. Quatre cartes étaient présentées, la tâche consistant à vérifier la règle “s'il y a une VOYELLE d'un côté, alors il y a un NOMBRE PAIR de l'autre” en soulevant le minimum de cartes.

A	**D**	**4**	**7**

La solution consistait à appliquer le *modus ponens* (*i.e.*, vérifier que derrière la VOYELLE A il y ait bien un NOMBRE PAIR) et le *modus tollens* (*i.e.*, vérifier que derrière le NOMBRE IMPAIR il n'y ait pas de VOYELLE). Les seules cartes utiles pour vérifier la règle sont donc la carte A et la carte 7. Les réponses correctes avoisinèrent 10%, expliqué par la difficulté d'appliquer ces principes logiques.

En 1982, Griggs et Cox présentèrent le même problème sur l'implication “si une personne boit de la bière, alors elle doit avoir plus de 19 ans” avec les cartes suivantes :



La solution consistait à appliquer les mêmes principes logiques sur la carte BIÈRE (*i.e.*, vérifier qu'il y ait bien au moins 19 ans derrière) et sur la carte 16 (*i.e.*, vérifier qu'il n'y ait pas BIÈRE derrière). Les réponses correctes avoisinèrent alors 80%, expliqué par les connaissances qu'ont les sujets sur les lois qu'on leur présente.

Il ne faut pas conclure pour autant qu'il suffit d'habiller les problèmes avec un contenu sémantique pour augmenter les performances : ce n'est pas seulement le réalisme de la situation qui est impliqué (Georges, 1993), comme le montrent ces quelques résultats :

Auteurs	***Réponses correctes***
Wason (1966)	10%
Evans (1972)	60%
Gilhooly & Falconer (1974)	21%
Griggs & Cox (1982)	70%
Griggs & Cox (1983)	85%
Mandler (1983)	70-75%
Cheng & Holyoak (1985)	30-88%
Chrostowski & Griggs (1985)	42-88%
Yachanin (1986)	12-100%
Overton *et al.* (1987)	70%
Pollard & Evans (1987)	36-71%
Dominowski (1989)	10-68%
Girotto *et al.* (1989)	70-80%
Griggs (1989)	23-80%
Dominowski (1990)	6-82%
Jackson & Griggs (1990)	9-53%
Ward & Overton (1990)	35-87%
Dominowski (1992)	12-83%
Gigerenzer & Hug (1992)	75%
Platt & Griggs (1993)	37-81%
Sperber *et al.* (1995)	16-78%

Les pourcentages de réponses correctes vont de 6% à 100%... Georges (1997) précise même que cette tâche n'est pas une bonne tâche pour étudier le raisonnement car elle est sensible à beaucoup trop de facteurs. Pourtant, les sujets s'adaptent en fonction de ce qu'on leur présente et peuvent réussir cette tâche lorsqu'ils connaissent la loi leur permettant de conclure d'une façon déductive. Lorsque la loi semble très arbitraire, comme dans la version logique, aucun exemple similaire ne vient, selon nous, augmenter la probabilité de vérification de l'hypothèse qu'on leur soumet. Ils se focalisent alors sur

quelque chose qu'ils reconnaissent, comme les cartes A et 4 qui sont généralement retournées.

Nous pensons que considérer d'une part le raisonnement comme une tentative de vérifier une hypothèse dèjà plus ou moins connue en repérant des similitudes pourrait apporter quelques indices sur certaines des réponses. Cependant, un second filtre doit être pris en compte qui constitue l'espace conceptuel dans lequel une solution va être recherchée.

5.2.2. Le deuxième filtre : la fermeture du problème

La fermeture d'un problème, *i.e.* son espace de résolution (Ascher, 1979), peut être plus ou moins explicite. La forme la plus explicite est évidemment la “formule”, définie sur un ensemble fini ou infini de valeurs, permettant de trouver facilement la ou les solutions du problème puisque, dans ce cas et pour reprendre les mots d'Ascher, «il n'y a qu'à tourner la manivelle» (1979, p.123). Cette fermeture devient de moins en moins explicite lorsqu'on se trouve confronté à des problèmes que l'on qualifiera de moins mathématiques ou logiques comme, par exemple, retrouver le chemin de son école 20 ans après l'avoir quittée (*cf.* Bastien, 1996, pour des exemples de ce type).

Mais même dans sa forme la plus explicite, la fermeture d'un problème *conditionne* sa résolution. Nous allons prendre deux exemples, le premier emprunté à Ascher (1979), le second à Hofstadter (1995c).

1) Considérons la suite d'entiers :

1 2 3 4 ...,

dans laquelle une régularité peut facilement être détectée. Cette régularité nous permet d'imaginer le cinquième élément de cette suite, le “5” par exemple. Mais très vite, on se rend compte que plusieurs régularités sont possibles : celle déjà évoquée d'une suite linéaire d'entiers, celle d'une suite croissante d'entiers (dans ce cas, tout entier supérieur à 4 peut jouer le rôle du cinquième élément), celle d'une suite qui n'est composée que des quatres premiers entiers (dans ce cas, tout entier compris entre 1 et 4 peut jouer le rôle du cinquième élément), etc. Par conséquent, chaque “régularité” ferme le problème et détermine les solutions possibles. Ascher nous donne alors 81 comme cinquième élément, car la fermeture *considérée ici* est celle de la formule d'interpolation de Lagrange (qui donne y (0) = 1, y (1) = 2, y (2) = 3, y (3) = 4, y (4) = 81) :

$$y(x) = \frac{19}{6}x^4 - 19x^3 + \frac{209}{6}x^2 - 18x + 1$$

2) Considérons la suite d'entiers :

0 1 2 ...,

quel est le prochain nombre ? Là encore, de nombreuses hypothèses et solutions peuvent être avancées. Mais 720! (*i.e.*, 720x719x...x2x1), qui en l'occurrence est le quatrième terme "attendu", n'est pas majoritairement celui que nous donnerions. La suite invoquée ici, réécrite pour qu'elle soit "perceptible", est la suivante :

0(!) 1! 2!! 3!!!...

dans laquelle on a bien 0(!) = 0, 1! = 1, 2!! = 2, 3!!! = 720!...

Ce qu'il faut comprendre ici, c'est qu'une solution possible peut être fausse *parce que* la fermeture prise en compte n'est pas *la bonne* (ou qu'elle n'est pas celle choisie par l'expérimentateur). La difficulté apparaît alors lorsque la fermeture du problème considérée par l'expérimentateur est différente de la fermeture du problème que se construit le sujet. Cette fermeture varie en fonction des consignes données aux sujets et de l'habillage du problème, participant ainsi à la variabilité des résultats expérimentaux précédemment évoquée en **5.1.**.

Cette notion peut être confondue avec la notion d'*espace-problème* ou la notion d'*espace de recherche*. L'espace-problème est un ensemble de choix auxquels est confronté un sujet à chaque étape de la résolution de problème (Newell & Simon, 1972). C'est la représentation que se fait le sujet de la résolution du problème. L'espace de recherche est celui dans lequel le passage de l'état initial à l'état final va se passer : il représente la structure canonique ou logique de la résolution. Nous préférons parler de fermeture et préciser que la fermeture du sujet n'est pas forcément la fermeture de l'expérimentateur qui n'est pas forcément la fermeture du problème (en particulier, dans des problèmes à plusieurs solutions).
Nous définissons ainsi la fermeture :

> La fermeture d'un problème est un champ conceptuel dans lequel l'individu qui résoud le problème va chercher une solution.

Nous avons choisi une autre tâche de Wason (1960; Rossi, 1999) appelée "2-4-6" pour illustrer ce deuxième filtre.
Cette tâche avait pour fonction l'étude de la capacité des sujets à tester une hypothèse pour découvrir une règle. Le triplet 2-4-6 est présenté comme pouvant être produit par cette règle. Ce triplet très spécifique oriente les sujets vers une fermeture du problème plus petite que l'espace de résolution dans lequel ils devraient chercher la règle. En effet, ils proposent au départ des règles comme "+2" ou "suite de nombres pairs", alors que la règle à découvrir est plus générale : "toute suite de nombres croissants". La figure 37

représente différentes fermetures pouvant être considérées dans la recherche d'une solution :

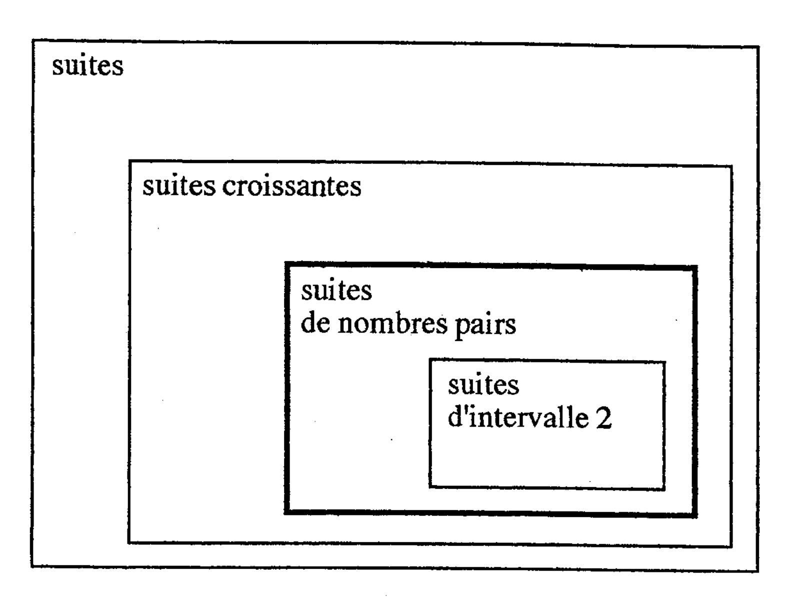


Figure 37. Dans la tâche 2-4-6, la grande majorité des règles proposées par les sujets sont "+2" et "suites de nombres pairs", ce qui correspond à une recherche de solutions dans une des fermetures du problème.

Après l'influence du point de vue sur la perception du problème, l'individu va déterminer un champ conceptuel dans lequel il va rechercher la solution. Son niveau d'expertise va alors le diriger vers une solution à l'intérieur de ce champ.

5.2.3. Le troisième filtre : le niveau d'expertise

Les caractéristiques de l'expert sont l'abstraction, la rapidité, l'efficacité et la différence individuelle entre experts. Nous adoptons la proposition de Bastien (1997, p.8) :

> Plus on est expert, moins on raisonne et plus on active des connaissances pertinentes et fonctionnellement structurées.

Un expert peut ainsi être considéré comme spécialiste dans un domaine dans lequel ses connaissances produisent des performances rapidement adaptées aux problèmes rencontrés. Plus généralement, quelqu'un qui va aboutir à une certaine fermeture d'un problème va posséder un niveau de compétence différent selon cette fermeture. Les experts ont ainsi tendance à se diriger vers une fermeture dans laquelle ils sont compétents, sous réserve que leur point de vue soit orienté par le contexte de la situation qui leur rappelle un problème familier qu'ils savent donc résoudre.

Des connaissances associées formeraient donc des procédures de résolution immédiates face à des problèmes fréquemment rencontrés. Ces blocs de connaissances, activés

automatiquement, dépendent du niveau d'expertise considéré mais sont mis en œuvre dans la fermeture précédente.

Notre exemple s'appuie sur des résultats obtenues en matière de perception échiquéenne. Chase et Simon (1973) ont étudié cette perception entre autres par le biais d'une tâche de rappel. Les sujets devaient rappelés des pièces sur un échiquier, sous deux conditions :
— une disposition réaliste des pièces : dans ce cas, l'expert est plus performant et plus rapide dans la restitution;
— une disposition irréaliste des pièces : dans ce cas, le novice est plus performant et plus rapide dans la restitution.
La supériorité de l'expert sur le novice n'est pas due à une capacité de mémoire plus importante mais à la façon dont l'expert groupe les pièces pour en mémoriser le plus possible. Ainsi, les auteurs ont pu mettre en évidence des groupements principalement liés à l'attaque et à la défense.
Mais il est difficile d'expliquer l'effet inverse lorsque la disposition du jeu est aléatoire. Pour nous, le novice a encore les moyens de grouper les pièces de différentes façons car ses blocs de connaissances ne sont pas construits. Dans notre vocabulaire, il dispose d'analogies, c'est-à-dire de liens entre connaissances, en plus grand nombre qui lui permettent d'organiser les pièces autrement qu'en configuration d'attaque ou de défense.

Cette explication pourrait selon nous éclaircir quelques résultats problématiques sur la supériorité des novices sur les experts (Adelson, 1984; Wiley, 1997, 1998), et pourrait être envisagée pour expliquer le passage du novice à l'expert, en l'occurrence une caractérisation de ce qu'est le niveau *intermédiaire*. En effet, nous considérons l'expertise comme une modification des liens entre connaissances qui renforce certains d'entre eux et en éliminent beaucoup. Ainsi, l'expert serait très efficace dans des situations très contextuelles, et se retrouverait piégé par ses blocs de connaissances qui ne sont plus reliées à d'autres connaissances jugées inutiles dans le contexte habituel de résolution.

Cette explication est compatible avec les travaux d'Amalberti (1997, 1998) sur le raisonnement expert. Un opérateur même bien formé aura pratiquement aucune chance de comprendre un cas imprévu. S'il essaie de comprendre, il peut faire une erreur de compréhension, et peut ensuite faire des erreurs beaucoup plus graves. Il vaut donc mieux rester dans un cercle de "cognition sûre" où les problèmes deviennent mineurs. Pour nous, ce cercle de "cognition sûre" est représenté par la fermeture que l'on choisit pour y être compétent. Le novice n'a pas encore de structure spécialisée construite, ce qui signifie qu'il a gardé des liens entre connaissances dont il ne sait pas encore en évaluer la validité. Par conséquent, lorsqu'il est confronté à un problème inconnu, il a toujours moyen

d'évoquer des connaissances que l'expert jugerait inadaptées mais qui s'avèrent, dans certains cas, plus efficaces.

5.3. CONCLUSION : UNE THÉORIE (GÉNÉRALE) DU RAISONNEMENT (FLUIDE)

Ce cadre théorique n'a d'intérêt que parce qu'il permet une vision globale des formes de raisonnement qui peuvent paraître différentes et des liens étroits existant entre activité inférentielle et connaissances disponibles lors de cette activité. Nous pensons également qu'il peut incorporer les différentes populations entre le novice et l'expert, mais aussi les comportements "déviants", pathologiques ou créatifs (Epelbaum, 1995; Torre, 1995). En effet, le principe reste le même :

— un premier filtre sélectionne une représentation du problème en fonction des connaissances disponibles; à ce niveau, ce sont les différences individuelles générales (en fonction de l'expérience générale, de l'état émotionnel, de la motivation et d'une éventuelle pathologie) qui participent à cette sélection;

— un deuxième filtre, dont la sélection dépend du premier, sélectionne l'espace conceptuel dans lequel la solution va être recherchée; cet espace peut n'avoir aucun rapport avec l'espace envisagé par l'expérimentateur et/ou nécessaire à la résolution du problème, mais reste pertinent pour le sujet lui-même (et peut aboutir à des réponses créatives non prévues);

— un troisième filtre, dont la sélection dépend du deuxième, sélectionne les connaissances habituellement utilisées dans ce type de fermeture, ou entraîne le sujet vers une résolution difficile; dans ce dernier cas, seul le novice peut se sortir de la situation par les nombreux liens qu'il possède encore entre des connaissances qui sont déjà séparées d'autres chez l'expert.

Plus généralement, il est possible de concevoir que plus le niveau d'expertise est élevé, moins les liens entre connaissances sont nombreux :

— ils ne sont pas suffisamment réduits dans le cas d'un novice, ce qui lui permet de s'adapter ou au contraire de se tromper face à un problème qu'il connait mal ou qu'il croit connaître; d'autre part, ces liens trop nombreux multiplient les points de vue possibles d'une situation, ce qui peut rendre leurs performances à la fois plus lentes et plus créatives;

— ils sont réduits au minimum dans le cas de ce qu'on appellera le sur-expert, en fonction des problèmes qu'il a fréquemment rencontrés. Dans ce cas, il a beaucoup de mal à se diriger vers un autre type de résolution, et donc de solution;

— l'expert proprement dit se situe entre les deux, et peut à la fois être efficace et rapide lorsque le problème est connu, et s'adapter lorsque la situation l'exige.

La figure 38 résume notre conception :

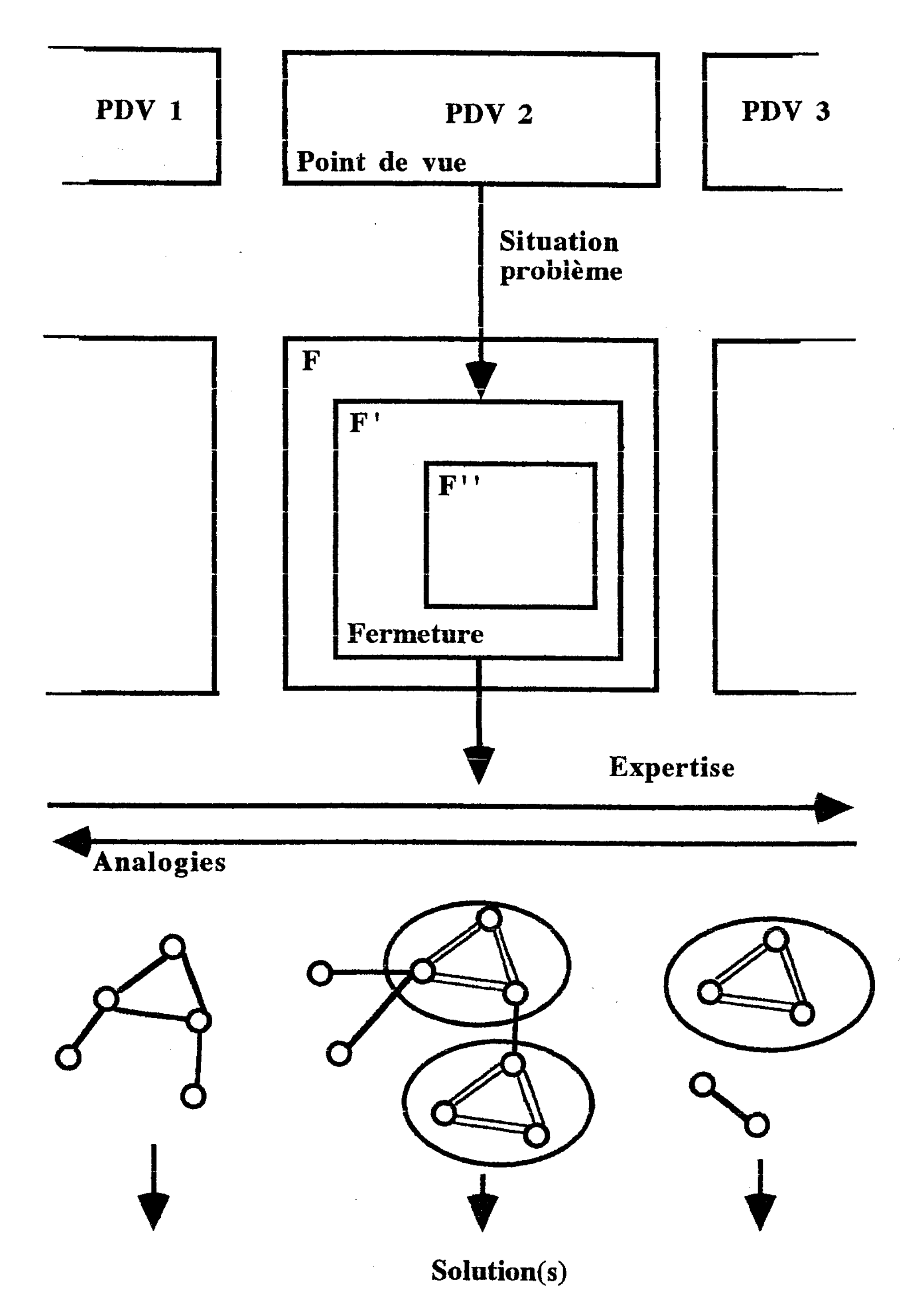


Figure 38. Le raisonnement vu comme une succession de filtres à analogies : les analogies sont représentées par des traits entre connaissances (représentées par des ronds), les double traits représentant des liaisons formant des blocs de connaissances directement activés.

Ainsi, la prise en compte du rôle de l'analogie comme lien entre connaissances et d'une définition du raisonnement comme sélection d'analogies rend ainsi possible une synthèse de résultats dissociés en résolution de problèmes ainsi qu'une explication cohérente de

résultats liés à l'expertise (Vivicorsi, Polge & de Viviés, en préparation). En effet, ce sont ces liens (ces analogies) qui rendent possible le raisonnement.

Plus important peut-être, cette conception rend possible l'intégration de résultats en défendant une fluidité conceptuelle ubiquitaire : rendue possible par la perception d'analogies, elle reste le moyen privilégiée de traiter des situations-problèmes nouvelles en produisant des solutions parfois créatives — sous réserve que les connaissances activées ne soient pas trop spécialisées (i.e., coupées d'autres réseaux de connaissances) afin de permettre un minimum de glissements conceptuels alors pertinents.

CONCLUSION :
PERCEPTION D'ANALOGIES ET ADAPTATION CONCEPTUELLE

> Il est de fait que la fabrique des pensées est comme un métier de tisserand, où un mouvement du pied agite des milliers de fils, où la navette monte et descend sans cesse, où les fils glissent invisibles, où mille nœuds se forment d'un seul coup : le philosophe entre ensuite, et vous démontre qu'il doit en être ainsi : le premier est cela, le second cela, donc le troisième et le quatrième cela; et que si le premier et le second n'existaient pas, le troisième et le quatrième n'existeraient pas davantage. Les étudiants de tous les pays prisent fort ce raisonnement, et aucun d'eux pourtant n'est devenu tisserand. Qui veut reconnaître et détruire un être vivant commence par en chasser l'âme : alors il a entre les mains toutes les parties; mais, hélas! que manque-t-il ? rien que le lien intellectuel.
>
> Johann W. Gœthe, 1808, tr. fr. 1964, p.83

Nous avons montré dans ce travail l'ubiquité de la fluidité conceptuelle et l'importance de son étude en psychologie. La perception d'analogies, cœur de l'adaptation conceptuelle, permet de rendre compatible une élaboration des connaissances commune avec des différences inter-individuelles mises en évidence dans les études sur le raisonnement.

En effet, les mécanismes permettant la fluidité conceptuelle mis en évidence (*i.e.*, la perception de haut niveau et la boucle perception-conceptualisation) sont réalisés à partir de cette perception d'analogies. Les connaissances supportant alors tout type de raisonnement doivent, nous semble-t-il, pouvoir être sélectionnées par une succession de filtres à analogies qui restreint à la fois la perception d'analogies au sein des situations-problèmes, mais aussi les connaissances activées pour résoudre le problème.

Nous pensons ainsi pouvoir unifier et intégrer les différents résultats portant sur le raisonnement en respectant :
— l'élaboration individuelle de connaissances;
— l'aboutissement aux différentes réponses possibles par les mêmes mécanismes;
— la prise en compte de sujets différents d'une certaine norme au sein d'un même cadre théorique : les experts, les individus atteints d'une pathologie et les individus créatifs;

— l'apport possible de corrélats neurophysiologiques sur la sélection d'informations (nous pensons en particulier à des systèmes descriptifs liés aux travaux portant sur une activité chaotique cérébrale émergente).

Nos futures recherches vont s'orienter dans la précision de ce cadre théorique encore trop esquissé, en particulier vers les populations qui nous semblent les plus prometteuses sur ce sujet : les enfant et les individus atteints de pathologie. Ce faisant, nous nous intéresserons aux méthodes statistiques nous permettant d'utiliser de façon optimale les critères d'une démarche expérimentale que nous défendons dans ce domaine, afin d'être plus précis sur le parcours de résolution des individus.

Nous pensons que l'étude de la résolution séquentielle et dynamique d'un individu dans des tâches liés à la fluidité conceptuelle, étude basée sur la défense de mécanismes *généraux* de résolution centrés sur la perception d'analogies, représente la marche à suivre pour élaborer une théorie générale du raisonnement en adéquation avec une théorie du développement de l'organisation conceptuelle. Nous espérons que notre perception dans ce cas permettra les glissements les plus pertinents dans notre soif de comprendre l'homme cognitif.

BIBLIOGRAPHIE

ABDI, H. (1986). La mémoire sémantique. Une fille de l'intelligence artificielle et de la psychologie : quelques éléments biographiques... In C. Bonnet, J.M. Hoc & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie, intelligence artificielle et automatique* (pp.139-151). Bruxelles : Pierre Mardaga.

ABDI, H. (1993). Précis de connexionnisme. In J.-F. Le Ny (Ed.), *Intelligence naturelle et intelligence artificielle* (pp.281-314). Paris : Presses Universitaires de France.

ADELSON, B. (1984). When Novices Surpass Experts: The Difficulty of a Task May Increase With Expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 10 (3)*, 483-495.

AITCHISON, J. (1997). *The language web. The power and problem of words* (The 1996 BBC Reith Lectures). Cambridge : Cambridge University Press.

ALENGRY, P. (1988). Connaissances profondes et connaissances de surface dans la modélisation du raisonnement. In J.-P. Caverni (Ed.), *Psychologie de l'expertise*. N° spécial *Psychologie Française, 33 (3)*, 171-176.

AMALBERTI, R. (1997). L'homme facteur de fiabilité. *Pilote de ligne, 15*, 24-25.

AMALBERTI, R. (1998). La primauté du contrôle cognitif. Communication invitée aux *Journées "Prospectives" de la Société Française de Psychologie «Le Raisonnement : Questions Vives et Prospective»*. Paris, 9-10 décembre.

AMY, B. (1996). La place des réseaux neuronaux dans l'IA. In V. Rialle & D. Fisette (Eds.), *Penser l'esprit. Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive* (pp.43-65). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

ANDLER, D. (1986). Les sciences de la cognition. In J. Hamburger (Ed.), *La philosophie des sciences aujourd'hui* (pp.131-167). Paris : Gauthier-Villars/Bordas.

ANDLER, D. (1987). L'apprentissage dans les sciences cognitives : approches théoriques. In J. Quinqueton & J. Sallantin (Eds.), *Apprentissage et machine*. N° spécial *Intellectica, 2-3*, 213-234.

ANDLER, D. (1990). Connexionnisme et cognition : à la recherche des bonnes questions. In J. Petitot (Ed.), *Sciences cognitives : quelques aspects problématiques*. N° spécial de *Revue de synthèse, IVe S., 1-2*, 95-127.

ANDLER, D. (1992). Introduction. Calcul et représentation : les sources. In D. Andler (Ed.), *Introduction aux sciences cognitives* (pp.9-46). Gallimard.

ANTONI, F. (1997). *Un point de vue sur le Mapping. Comment dénouer le Nœud Gordien des mises en correspondance ?* Mémoire de DEA effectué sous la co-direction de T. Ripoll et de C. Bastien, Université de Provence.

ANTONI, F., BOURRELLY, L., PÉLISSIER, A. & RIPOLL, T. (1996). Le point de vue comme contrainte à la réalisation du mapping. Communication orale au *Groupe de travail "Analogie, Raisonnement et Acquisition des Connaissances" (ARAC)*. Aix-en-Provence, 13-14 juin.

ARCHAMBAULT, A. & SCHYNS, P.G. (1998). Categorization changes object perception. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.60-65). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

ARMSTRONG, S.L., GLEITMAN, L.R. & GLEITMAN, H. (1983). What some concepts might not be. *Cognition, 13*, 263-308.

ARRIGHETTI, G. (1999). Art et *mimèsis*, de Platon à Aristote. Conférence du *Centre d'études sur la pensée antique «kairos kai logos»* et du *Département de Philosophie*. Aix-en-Provence, 3 mars.

ASCHER, E. (1979). Nécessité et fermeture. Quelques aspects. *Arch. Psychol., 181*, 123-130.

ATLAN, H. (1997). Les échanges de savoir : la bibliothèque comme métaphore d'organisation biologique. In E. Farge (Ed.), *Interdisciplinarités*. N° spécial *Le genre humain, 33*, 197-204.

BADDELEY, A. (1990). *Human memory. Theory and practice*. Tr. fr. de S. Hollard, *La mémoire humaine. Théorie et pratique*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble, 1992.

BARNDEN, J.A. (1994). On the Connectionist Implementation of Analogy and Working Memory Matching. In J.A. Barnden & K.J. Holyoak (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.3. Analogy, Metaphor, and Reminding* (pp.327-374). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

BARROUILLET, P. (1996). Ressources, capacités cognitives et mémoire de travail : postulats, métaphores et modèles. In A. Tricot & L. Chanquoy (Eds.), *La charge mentale*. N° spécial *Psychologie Française, 41 (4)*, 319-338.

BARSALOU, L.W. (1987). The instability of graded structure: implications for the nature of concepts. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and Conceptual Development. Ecological and intellectual factors in categorization* (pp.101-140). Cambridge : Cambridge University Press.

BARSALOU, L.W. & MEDIN, D.L. (1986). Concepts: Static Definitions or Context-Dependent Representations? *Cahiers de Psychologie Cognitive, 6*, 187-202.

BARTH, B-M. (1993). La détermination et l'apprentissage des concepts. In J. Houssaye (Ed.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp.275-288). Paris : ESF.

BARTHÉLÉMY, J.-P., DE GLAS, M., DESCLÉS, J.-P. & PETITOT, J. (1996). Logique et dynamique de la cognition. In M. de Glas (Ed.), *Logiques et sciences cognitives*. N° spécial d'*Intellectica, 23*, 219-301.

BARTON, S. (1994). Chaos, Self-Organization, and Psychology. *American Psychologist, 49 (1)*, 5-14.

BASTIEN, C. (1984). Réorganisation et construction de schèmes dans la résolution de problèmes. In J.-F. Richard (Ed.), *Résoudre des problèmes : au laboratoire, à l'école, au travail*. N° spécial *Psychologie Française, 29 (3/4)*, 243-246.

BASTIEN, C. (1988). Les modèles de résolution de problèmes. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie cognitive : modèles et méthodes* (pp.27-39). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

BASTIEN, C. (1992). Les représentations formelles de la cognition et de la représentation. In J. Gervet, P. Livet & A. Tête (Eds.), *La représentation animale* (pp.193-202). Nancy : Presses Universitaires de Nancy.

BASTIEN, C. (1994). La recherche sur le raisonnement chez l'enfant. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives*. N° spécial *Psychologie Française, 39 (2)*, 205-212.

BASTIEN, C. (1996). Raisonner. N° spécial «A quoi sert le cerveau ?». *Science & Vie, HS 195*, 110-116.

BASTIEN, C. (1997). *Les connaissances de l'enfant à l'adulte. Organisation et mise en œuvre*. Paris : Armand Colin/Masson.

BASTIEN, C. (1998). Does context modulate or underlie human knowledge? In A.C. Quelhas & F. Pereira (Eds.), *Cognition and Context* (pp.13-25). N° spécial *Análise Psicológica*.

BASTIEN, C., BASTIEN-TONIAZZO, M. & CAYOL, D. (1996). Des rôles respectifs de la cible et de la source dans la résolution de problème par analogie. Communication orale au *Groupe de travail "Analogie, Raisonnement et Acquisition des Connaissances" (ARAC)*. Aix-en-Provence, 13-14 juin.

BASTIEN-TONIAZZO, M., BLAYE, M. & CAYOL, D. (1998). Analogical Problem-Solving in Preschool Children. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.283-290).

BECHTEL, W. (1991). Connectionism and the philosophy of mind: an overview. In T. Horgan & J. Tienson (Eds.), *Connectionism and the Philosophy of Mind* (pp.30-59). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

BECHTEL, W. & ABRAHAMSEN, A. (1991). *Connectionism and the Mind*. Cambridge (MA) : Basil Blackwell. Tr. fr. de J. Proust, *Le connexionnisme et l'esprit. Introduction au traitement parallèle par réseaux*. Paris : La Découverte, 1993.

BECHTEL, W. & ABRAHAMSEN, A.A. (1993). Interfield Connections and Psychology. In H.V. Rappard, P.J. van Strien, L.P. Mos & W.J. Baker (Eds), *Annals of Theoretical Psychology, Vol.9* (pp.125-139). New York : Plenum Press.

BERNARD, J.-M. (1998). Mise en évidence de dépendances orientées par l'analyse implicative bayésienne. Conférence au *Séminaire de Psychologie Cognitive et Expérimentale du CREPCO*. Aix-en-Provence, 13 février.

BERNARD, J.-M. & CHARRON, C. (1996a). L'Analyse Implicative Bayésienne, une méthode pour l'étude des dépendances orientées. I : données binaires. *Mathématiques, Informatique et Sciences humaines, 134*, 5-18.

BERNARD, J.-M. & CHARRON, C. (1996b). L'Analyse Implicative Bayésienne, une méthode pour l'étude des dépendances orientées. II : modèle logique sur un tableau de contingence. *Mathématiques, Informatique et Sciences humaines, 135*, 5-38.

BÉROULE, D. (1993). Vers un connexionnisme cognitiviste ? In M. Denis & G. Sabah (Eds.), *Modèles et concepts pour la science cognitive. Hommage à J.-F. Le Ny* (pp.108-124). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

BERRETTY, P.M., TODD, P.M. & BLYTHE, P.W. (1997). Categorization by Elimination: A Fast and Frugal Approach to Categorization. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.43-48). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

BESNARD, D. & BASTIEN-TONIAZZO, M. (1999). Expert errors in trouble-shooting. An exploratory study in electronics. *International Journal of Human Computer Studies, 50*, 391-405.

BESNARD, P. (1989). Logiques formelles et raisonnement de bon sens. *Ann. Télécommun., 44 (5-6)*, 242-250.

BLACK, M. (1979). More about metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.19-41). Cambridge (MA) : Cambridge University Press, 1993.

BLANK, D.S., MEEDEN, L.A. & MARSHALL, J.B. (1992). Exploring the Symbolic/Subsymbolic Continuum: A Case Study of RAAM. In J. Dinsmore (Ed.), *The Symbolic and Connectionist Paradigms: Closing the Gap* (pp.113-148). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

BODEN, M.A. (1994). Précis of *The creative mind: Myths and mechanisms* (with Open Peer Commentary). *Behavioral and Brain Sciences, 17*, 519-570.

DE BONIS, L. (1997). Contingence et nécessité dans l'histoire de la vie. In *L'évolution. Pour la science, HS 14*, 20-28.

BONNARDEL, N. (1999). Creativity in design activities: The role of analogies in a constrained cognitive environment. In L. Candy & E. Edmonds (Eds.), *Proceedings of the third Creativity & Cognition Conference* (pp.158-165). New York : ACM.

BONNARDEL, N. & RECH, M. (1998). Analogies in Design Activities: A Study of the Evocation of Intra- and Inter-domain Sources. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.336-344).

BORGES, J.L. (1955). Le Congrès. In *El Libro de Arena*. Tr. fr. de F. Rosset, *Le livre de sable* (pp.27-57), 1978. Gallimard, 1998.

BORGES, J.L. (1975). Ulrica. In *El Libro de Arena*. Tr. fr. de F. Rosset, *Le livre de sable* (pp.20-26), 1978. Gallimard, 1998.

BORING, E.G. (1930). A new ambiguous figure. *American Journal of Psychology, 42*, 444.

BORILLO, M. & SAUVAGEOT, A. (Eds.) (1996). *Les cinq sens de la création. Art, technologie, sensorialité*. Seyssel : Champ Vallon.

BOTWINICK, J. (1961). Husband and father-in-law: A reversible figure. *American Journal of Psychology, 74*, 312-313.

BOURGINE, P. (1996). Modèles d'agents autonomes et de leurs interactions coévolutives. In V. Rialle & D. Fisette (Eds.), *Penser l'esprit. Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive* (pp.421-443). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

BOURRELLY, L. & SAVELLI, J. (1992). A propos des ambiguïtés du raisonnement analogique. *Technique et science informatiques, 11 (6)*, 39-65.

BRAINE, M.D.S. (1978). On the relation between the natural logic of reasoning and standard logic. *Psychological Review*, *85*, 1-21.

BRÉDART, S., WARD, T.B. & MARCZEWSKI, P. (1998). Structured imagination of novel creatures' faces. *American Journal of Psychology*, *111 (4)*, 607-625.

BRENNAN, S. (1985). The caricature generator. *Leonardo*, *18*, 170-178.

BRINGSJORD, S., NOEL, R. & BRINGSJORD, E. (1998). In Defense of Logical Minds. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.173-178). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

BROOKS, R.A. (1991). Intelligence without representation. *Artificial Intelligence*, *47*, 139-159.

BURNOD, Y. (1990). Les modèles connexionnistes à l'épreuve de la neurobiologie. In D. Memmi & Y.M. Visetti (Eds.), *Modèles connexionnistes*. N° spécial *Intellectica*, *9-10*, 247-282.

BURNS, B.D. (1994). Analogy programs and creativity (Commentary/Boden: Creative mind). *Behavioral and Brain Sciences*, *17 (3)*, 535.

BURNS, B.D. (1996). Meta-Analogical Transfer: Transfer Between Episodes of Analogical Reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *22 (4)*, 1032-1048.

BURNS, B.D. (1998). Pragmatic Effects on Speed of Analogical Problem Solving. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.201-209).

BURNS, B.D. & HOLYOAK, K.J. (1994a). Principles and Mechanisms of Analogy Making: An Evaluation of the Copycat Model. Manuscript non publié.

BURNS, B.D. & HOLYOAK, K.J. (1994b). Competing Models of Analogy: ACME Versus Copycat. Communication présentée au *Sixteen Annual Meeting of the Cognitive Science Society*. Atlanta, août.

BURNS, B.D. & SCHREINER, M.E. (1992). Analogy and representation: Support for the Copycat model. In *Proceedings of the Fourteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.737-742). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

BYRNE, R.M. (1997). The coming of age of the pychology of thinking and reasoning. In R. Fuller, P.N. Walsh & P. McGinley (Eds.), *A Century of Psychology* (pp.207-223). London : Routledge.

BYRNE, R.M.J. & HANDLEY, S.J. (1997). Reasoning strategies for suppositional deductions. *Cognition*, *62*, 1-49.

CABRERA, À. (1998). Building The New Onto The Old: Category Constraints on Category Formation. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.197-202). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

CACCIARI, C., LEVORATO, M.C. & CICOGNA, P. (1997). Imagination at Work: Conceptual and Linguistic Creativity in Children. In T.B. Ward, S.M. Smith & J. Vaid (Eds.) (1997, pp.145-177).

CAILLOIS, R. (1948). Le sens des mots. In *Babel* (pp.261-266).Gallimard, 1996.

CARROLL, L. (1865). *Alice's Adventures in Wonderland*. Tr. fr. d'A. Bay (et d'H. Parisot), *Alice au Pays des Merveilles*. Verviers : Gérard & C°, 1963.

CARROLL, L. (1872). *Through the Looking-Glass, and What Alice found here*. Tr. fr. d'A. Bay (et d'H. Parisot), *De l'autre côté du miroir*. Verviers : Gérard & C°, 1963.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E. & DIDIERJEAN, A. (1999). Raisonnement par analogie et généralisation des connaissances. In G. Netchine-Grynberg (Ed.), *Développement et fonctionnement cognitif : vers une intégration* (pp.125-152). Paris : Presses Universitaires de France.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E. & MATHIEU, J. (1994). Généralisation des connaissances et résolution de problèmes. *L'Année psychologique*, *94*, 461-484.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E., MATHIEU, J. & WEIL-BARAIS, A. (1985). Raisonnement analogique et résolution de problèmes. *L'Année psychologique*, *85*, 49-72.

CAUZINILLE-MARMÈCHE, E. & VIVICORSI, B. (1998). Au-delà du raisonnement par cas. Réparations et transformations : le rôle central du point de vue. Communication invitée aux *Journées "Prospectives" de la Société Française de Psychologie «Le Raisonnement : Questions Vives et Prospective»*. Paris, 9-10 décembre.

CAVERNI, J.-P. (1988). Psychologie de l'expertise : éléments d'introduction. In J.-P. Caverni (Ed.), *Psychologie de l'expertise.* N° spécial *Psychologie Française, 33 (3)*, 114-125.

CAVERNI, J.-P., FABRE, J.-M. & GONZALEZ, M. (1990). Introduction. Cognitive biases: Their contribution for understanding human cognitive processes. In J.-P. Caverni, J.-M. Fabre & M. Gonzalez (Eds.), *Cognitive biases* (pp.7-12). Elsevier Science Publishers.

CAVERNI, J.-P., GEORGE, C. & POLITZER, G. (1994). Raisonnements : conjoncture et prospectives. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives*. N° spécial de *Psychologie Française, 39 (2)*, 107-113.

CAYOL, D. (1996). Effets des contraintes pragmatiques sur l'appariement dans le raisonnement par analogie. In *Actes du Deuxième Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences Cognitives* (pp.280-284). Presqu'île de Giens, 5-7 juin.

CAYOL, D. (1999). Guidage de l'appariement analogique par la connaissance du but à atteindre. Communication orale au *Congrès National de la Société Française de Psychologie*. Aix-en-Provence, 25-27 mai.

CELLÉRIER, G. (1992). Le Constructivisme génétique aujourd'hui. Organisation et fonctionnement des schèmes. In B. Inhelder & G. Cellérier (Eds.), *Le Cheminement des découvertes de l'enfant* (pp.217-253). Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

CHALMERS, D.J., FRENCH, R.M. & HOFSTADTER, D.R. (1992). High-level perception, representation, and analogy: A critique of artificial intelligence methodology. *J. Expt. Theor. Artif. Intell., 4*, 185-211.

CHANG, T.M. (1986). Semantic Memory: Facts and Models. *Psychological Bulletin, 99 (2)*, 199-220.

CHANGEUX, J.-P. (1983). *L'homme neuronal*. Librairie Arthème Fayard.

CHASE, W.G. & SIMON, H.A. (1973). Perception in Chess. *Cognitive Psychology, 4*, 55-81.

CHAZAL, G. (1995). *Le miroir automate. Introduction à une philosophie de l'informatique*. Seyssel : Champ Vallon.

CHENG, P. & HOLYOAK, K.J. (1985). Pragmatic reasoning schemas. *Cognitive Psychology, 17*, 391-416.

CHOMSKY, N. & FODOR, J. (1979). Exposé du paradoxe (suivi d'une discussion avec T. de Zengotita, N. Chomsky, G. Bateson, D. Premack, S. Papert, J. Fodor). In M. Piatelli-Palmarini (Ed.), *Théories du langage, théories de l'apprentissage. Le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky* (pp.379-397). Paris : Seuil.

CHROSTOWSKI, J.J. & GRIGGS, R.C. (1985). The effects of problem content, instructions, and verbalisation procedures on Wason's selection task. *Current Psychological Research and Reviews, 4*, 99-107.

CHURCHLAND, P.M. (1995). *The Engine of Reason, the Seat of the Soul: a Philosophical Journey into the Brain*. The MIT Press. Tr. fr. d'A. Pélissier, *Le cerveau : moteur de la raison, siège de l'âme*. Bruxelles : De Boeck Université, 1999.

CHURCHLAND, P.S. (1995). Take It Apart and See How It Runs. In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.20-32). Princeton (NJ) : Princeton University Press.

CLARK, A. (1996). La cognition à l'état sauvage : remettre la représentation à sa place. In V. Rialle & D. Fisette (Eds.), *Penser l'esprit. Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive* (pp.105-111). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

CLARK, A. (1997). The Dynamical Challenge. *Cognitive Science, 21 (4)*, 461-481.

CLÉMENT, E. (1994). *La Représentation de l'Action : l'Interprétation des Consignes dans des Problèmes Isomorphes*. Thèse de doctorat effectuée sous la direction de J.-F. Richard, Université de Paris VIII.

CLÉMENT, E. (1996). L'effet du contexte sémantique dans l'élaboration de la représentation du problème. *L'Année Psychologique*, *96*, 409-442.

CLERGUE, G. (1996). *L'avènement de la complexité dans la construction des apprentissages. Application à la pédagogie des recherches menées en informatique sur le chaos déterministe et les réseaux de neurones artificiels.* Thèse de doctorat effectuée sous la direction de M. Linard, Université de Paris X.

CODOL, J.-P. (1984). Quand Dupond ressemble à Dupont plus que Dupont à Dupond. *Psychologie Française*, *29 (3/4)*, 284-290.

COHEN, A. (1938). *Mangeclous.* Gallimard, 1998.

COLLINS, A.M. & LOFTUS, E.F. (1975). A Spreading Activation Theory of Semantic Processing. *Psychological Review*, *82*, 407-428.

COLLINS, A.M. & QUILLIAN, M.R. (1969). Retrieval Time from Semantic Memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *8*, 240-248.

COOMBS, C.H., DAWES, R.M. & TVERSKY, A. (1970). La théorie de la détection du signal. In *Mathematical Psychology. An Elementary Introduction.* Prentice-Hall (NJ). Tr. fr. de J.-P. et R. Poitou, *Psychologie mathématique, tome 1 : Modèles et processus de décision* (pp.223-270). Paris : Presses Universitaires de France, 1975.

CORDIER, M.-O. (1984). Les systèmes experts. In P. Vandeginste (Ed.), *La recherche en intelligence artificielle* (pp.177-209). Paris : Seuil, 1987.

CORNUÉJOLS, A. & ALES-BIANCHETTI, J. (1998). Analogy and Induction: Which (Missing) Link? In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.365-372).

CORSON, Y. (1986). Mémoire, catégorisation et récupération. In C. Bonnet, J.M. Hoc & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie, intelligence artificielle et automatique* (pp.153-164). Bruxelles : Pierre Mardaga.

COSTELLO, F. & KEANE, M.T. (1997). Polysemy in Conceptual Combination: Testing the Constraint Theory of Combination. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.137-142). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

COULET, J.-C. (1999). *Eduquer l'intelligence.* Paris : Dunod.

COULON, D. (1998). *Encodage analogique et mapping. Une autre approche du raisonnement par analogie.* Mémoire de DEA effectué sous la direction de T. Ripoll, Université de Provence.

CRAIK, K. (1943). *The Nature of Explanation.* Cambridge : Cambridge University Press.

CSIKSZENTMIHALYI, M. (1988). Motivation and creativity: Toward a synthesis of structural and energistic approaches to cognition. *New Ideas in Psychology, 6 (2)*, 159-176.

DARRINGTON, S., LINGSTADT, T. & RAMSCAR, M. (1998). Analogy As A Sub-Process Of Categorisation. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.279-284). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

DAUCÉ, E. & DOYON, B. (1999). Apprentissage dynamique dans les réseaux de neurones. In B. Vivicorsi, M. Polge, S. Cayrou, F. de Gaulejac, G. Chicoisne, V. Cotten, M. Le Calvez & E. Perrone (Eds.) (1999). *Interdisciplinarité et cognition. Les multiples approches, du traitement de l'information aux systèmes dynamiques et à l'énaction. Actes du III[e] Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences* Cognitives (pp.76-83). Soulac, 26-28 avril 1999.

DEAN, J. (1998). Animats and what they can tell us. *Trends in Cognitive Sciences, 2 (2)*, 60-67.

DEFAYS, D. (1987). Numbo: A Study in Cognition and Recognition. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.131-154).

DEFAYS, D. (1988). *L'esprit en friche. Les foisonnements de l'intelligence artificielle.* Liège : Pierre Mardaga.

DE GELDER, B. (1991). Carnap, Fodor et le cognitivisme logique. In J.-N. Missa (Ed.), *Philosophie de l'esprit et sciences du cerveau* (pp.123-133). Paris : Librairie Philosophique J. Vrin.

DEJONG, G. (1989). The role of explanation in analogy; or, The curse of an alluring name. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp.346-365). Cambridge : Cambridge University Press.

DELORME, A. (1994). Mécanismes généraux de la perception. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale, tome 1* (pp.161-218). Paris : Presses Universitaires de France.

DEMARCHI, S., REYNES, S. & VAZEL, M.-A. (1999). Les problèmes d'identification de suspects et de construction des portraits-robots. Communication orale au *Congrès National de la Société Française de Psychologie*. Aix-en-Provence, 25-27 mai.

DENNETT, D.C. (1987). *The Intentional Stance*. Cambridge (MA) : A Bradford Book/The MIT Press. Tr. fr. de P. Engel, *La stratégie de l'interprète. Le sens commun et l'univers quotidien*. Gallimard, 1990.

DENNETT, D. & HOFSTADTER, D. (1981). Reflexions. In D. Hofstadter & D. Dennett (Eds.), *The Mind's I*. New York : Basic Books. Tr. fr. de J. Henry, *Vues de l'esprit. Fantaisies et réflexions sur l'être et l'âme* (pp.214-215). Paris : InterEditions, 1987.

DEREGOWSKI, J.B. (1989). Real space and represented space: Cross-cultural perspectives (with Open Peer Commentary). *Behavioral and Brain Sciences, 12*, 51-119.

DESAI, R. (1997). Structure-Mapping vs. High-level Perception: Why the Fight is Not Mistaken. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.897). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

DESCARTES, R. (1641, tr. fr. 1647). *Méditations métaphysiques*. Paris : Librairie Larousse, 1986.

DIDIERJEAN, A. (1997). *Le raisonnement par analogie : projection d'un schéma et/ou raisonnement à partir de cas ?* Thèse de doctorat effectuée sous la direction d'E. Cauzinille-Marmèche, Université Paris V.

DISCENNA, J. (1997). A New Look at Categorization. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.898). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

DOMINOWSKI, R.L. (1989). Success and failure on the four card problem. Communication orale à la *Sixth Annual Conference of the Cognitive Psychology Section*. Cambridge (U.K.), septembre.

DOMINOWSKI, R.L. (1990). Arbitrary and thematic versions of the four card problem. Communication orale à la *Seventh Annual Conference of the Cognitive Psychology Section*. Leicesteir (U.K.), septembre.

DOMINOWSKI, R.L. (1992). The multiple effects of changing content on Wason's four card task. Conférence à la *Second International Conference on Thinking*. Plymouth (Eng.), juillet.

DOMINOWSKI, R.L. (1995). Content Effects in Wason's Selection Task. In S.E. Newstead & J. St.B. T. Evans (Eds.), *Perspectives ON Thinking and Reasoning* (pp.41-65). Hove : Lawrence Erlbaum Associates.

DUBOIS, D. (Ed.) (1991a). *Sémantique et cognition. Catégories, prototypes, typicalité.* Paris : CNRS.

DUBOIS, D. (1991b). Introduction. Les catégories sémantiques «naturelles»: prototype et typicalité. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.15-27).

DUBOIS, D. (1991c). Catégorisation et cognition : «10 ans après», une évaluation des concepts de Rosch. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.31-54).

DUBOIS, D., RESCHE-RIGON, P. & TENIN, A. (1997). Des couleurs et des formes : catégories perceptives ou constructions cognitives. In D. Dubois (Ed.), *Catégorisation et cognition : de la perception au discours* (pp.17-40). Paris : Kimé.

DUNNING, D. & MADEY, S.F. (1995). Comparison Processes in Counterfactual Thought. In N. Roese & J. Olson (Eds.), *What might have been: The social psychology of counterfactual thinking* (pp.103-131). Lawrence Erlbaum Associates.
DURAND, G. (1975). *Science de l'homme et tradition*. Paris : Berg International, 1979.
DURUSSEL, L.A. & DERRY, S.J. (1998). Analogical Reasoning in a Natural Working Group. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.309-314). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

ECO, U. (1997). *Kant e l'ornitorinco*. Milan : Bompiani. Tr. fr. de J. Gayrard, *Kant et l'ornithorynque*. Paris : Grasset, 1999.
VON EHRENFELS, C. (1890). Über Gestaltqualitäten. *Vtljsch. Wiss. Philos.*, *14*, 249-292.
ELIASMITH, C. (1996). The Third Contender: A Critical Examination of the Dynamicist Theory of Cognition. *Philosophical Psychology*, *9*, 441-463. Reproduit in P. Thagard (Ed.), *Mind Readings. Introductory Selections on Cognitive Science* (pp.303-333). Cambridge (MA) : The MIT Press, 1998.
ELMAN, J.F. (1995). Language as a Dynamical System. In R.F. Port & T. van Gelder (Eds.), *Mind as Motion. Explorations in the Dynamics of Cognition* (pp.195-225). Cambridge (MA) : The MIT Press.
ENGEL, P. (1995). Causalité mentale et niveaux de causalité. *Revue philosophique*, *1*, 55-69.
EPELBAUM, C. (1995). *Contribution à l'étude du raisonnement logique dans la schizophrénie*. Thèse de Doctorat effectué sous la direction de M. de Bonis, Université Paris VI.
ERMAN, L.D., HAYES-ROTH, F., LESSER, V.R. & REDDY, D.R. (1980). The HEARSAY II speech-understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty. *Computing Surveys*, *12 (2)*, 213-253.
ERNST, B. (1978). *Le miroir magique de M.C. Escher* (tr. fr. de J. Renault). Köln : Taschen, 1994.
ERNST, B. (1985). *Avonturen met onmogelijke figuren*. Tr. fr. de M. Gendron, *L'aventure des figures impossibles*. Köln : Taschen, 1990.
ERNST, B. (1986). *Het begoochelde oog*. Tr. fr. de D. Sonrel, *Le monde des illusions d'optique*. Köln : Taschen, 1994.
ESCHER, M.C. (1959). *Grafiek en Tekeningen*. Tr. fr., *L'œuvre graphique*. Köln : Taschen, 1993.
ESKRIDGE, T.C. (1994). A Hybrid Model of Continuous Analogical Reasoning. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.207-246). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.
ESTES, W.K. (1993). Concepts, categories, and psychological science. *Psychological Science*, *4 (3)*, 143-153.
EVANS, J.ST.B.T. (1972). Interpretation and "matching bias" in a reasoning task. *British Journal of Psychology*, *24*, 193-199.

FABRE, J.-M. (1988). Effets des systèmes de réponse sur les jugements. In J.-P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie cognitive : modèles et méthodes* (pp.275-292). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
FABRE, J.-M. (1990). Specificity and categorization in judgment: A cognitive approach to stereotypes. In J.-P. Caverni, J.-M. Fabre & M. Gonzalez (Eds.), *Cognitive biases* (pp.401-422). Elsevier Science Publishers.
FALMAGNE, J.-C. (1994). Mesurage, modèles mathématiques et psychophysique. In M. Richelle, J. Requin & M. Robert (Eds.), *Traité de Psychologie Expérimentale, tome 1* (pp.79-141). Paris : Presses Universitaires de France.
FAUCONNIER, G. (1997a). A Lectures Series in Cognitive Science "Metaphor & Analogy". IRST, Povo, Trento, Italie, 18-21 juin.

FAUCONNIER, G. (1997b). *Mappings in Thought and Langage*. New York : Cambridge University Press.

FIRRAO, S. (1996). Cybernetic interpretation of thought. *Cybernetica, 39 (2)*, 99-112.

FLAMENT, C. (1986). Discussion de la session «systèmes de réponse». In J.-P. Caverni, C. Bonnet & J.-P. Codol (Eds.), *Jugement et langage : hommage à Georges Noizet.* N° spécial du *Bulletin de Psychologie, 375*, 345.

FODOR, J.A. (1974). Special Sciences, or The Disunity of Science as a Working Hypothesis. *Synthese, 28*, 97-115. Tr. fr. «Les sciences particulières (l'absence d'unité de la science: une hypothèse de travail)» in P. Jacob (Ed.), *De Vienne à Cambridge* (pp.379-400). Paris : Gallimard, 1980.

FODOR, J.A. (1975). *The Language of Thought*. New York : Thomas Y. Cromwell.

FODOR, J.A. (1981). The Mind-Body Problem. *Scientific American, 244*, 124-132.

FODOR, J.A. (1983). *The Modularity of Mind. An essay on faculty psychology*. Tr. fr. d'A. Gerschenfeld, *La modularité de l'esprit. Essai sur la psychologie des facultés*. Paris : Minuit, 1986.

FODOR, J.A. (1988). A Reply to Churchland's "Perceptual Plasticity and Theoretical Neutrality". *Philosophy of Science, 55*, 188-198. Reproduit in *A Theory of Content and Other Essays* (pp.253-263). Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book, 1990.

FODOR, J.A. (1989). Why Should the Mind Be Modular? In A. George (Ed.), *Reflections on Chomsky*. Basil Blackwell. Reproduit in *A Theory of Content and Other Essays* (pp.207-230). Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book, 1990.

FODOR, J. (1994). Concepts: a potboiler. *Cognition, 50*, 95-113.

FODOR, J.A. (1998). *Concepts. Where Cognitive Science Went Wrong*. New York : Oxford University Press.

FODOR, J. & LEPORE, E. (1996). The red herring and the pet fish: why concepts still can't be prototypes. *Cognition, 58*, 253-270.

FODOR, J.A. & PYLYSHYN, Z.W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition, 28*, 3-71.

FORBUS, K.D., GENTNER, D., EVERETT, J.O. & WU, M. (1997). Towards a Computational Model of Evaluating and Using Analogical Inferences. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.229-234). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

FORBUS, K.D., GENTNER, D., MARKMAN, A.B. & FERGUSON, R.W. (sous presse). Analogy just looks like high level perception: Why a domain-general approach to analogical mapping is right. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*.

FOUCAULT, M. (1966). *Les mots et les choses*. Gallimard, 1996.

FOURMENT, M.-C., EMMENECKER, N. & PANTZ, V. (1996). Etude de la production de métaphores chez des enfants de 3 à 7 ans. *L'Année Psychologique, 87*, 535-551.

FOURMENT-APTEKMAN, M.-C. (1996). La compréhension de métaphores et de pseudo-métaphores chez des enfants âgés de 4 à 8 ans. *L'Année Psychologique, 96*, 443-457.

FRENAY, M. (1996). Le transfert des apprentissages. In E. Bourgeois (Ed.), *L'adulte en formation. Regards pluriels* (pp.37-56). Bruxelles : De Boeck Université.

FRENCH, R.M. (1995). *The Subtlety of Sameness: A Theory and Computer Model of Analogy-Making*. Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

FRENCH, R.M. & HOFSTADTER, D.R. (1991). Tabletop: An Emergent, Stochastic Model of Analogy-Making. In *Proceedings of the Thirteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.708-713). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

FRENSCH, P.A. & STERNBERG, R.J. (1989). Expertise and intelligent thinking. When is it worse to know better? In R. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence, vol. 5* (pp.157-188). Hillsdale (NJ) : Erlbaum.

FRESNEAU, D. & ERRARD, C. (1994). L'identité coloniale et sa "représentation" chez les fourmis. In C. Lenay (Ed.), *Organisation émergente dans les populations : biologie, éthologie, systèmes artificiels.* N° spécial *Intellectica, 19*, 91-115.

GANASCIA, J.-G. (1985). La conception des systèmes experts. In P. Vandeginste (Ed.), *La recherche en intelligence artificielle* (pp.313-334). Paris : Seuil, 1987.

GÄRDENFORS, P. (1998). The role of similarity in concept formation. Conférence au *Third Human and Machine Perception Workshop, «Emergence, Attention and Creativity»*. Pavia, Italie, 14-17 septembre.

VAN GELDER, T. (1991). Classical questions, radical answers: Connectionism and the structure of mental representations. In T. Horgan & J. Tienson (Eds.), *Connectionism and the Philosophy of Mind* (pp.355-381). Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.

VAN GELDER, T.J. (1993). Is Cognition Categorization? *The Psychology of Learning and Motivation, 29*, 469-494.

VAN GELDER, T. & PORT, R.F. (1995). It's About Time: An Overview of the Dynamical Approach to Cognition. In R.F. Port & T. van Gelder (Eds.), *Mind as Motion. Explorations in the Dynamics of Cognition* (pp.1-43). Cambridge (MA) : The MIT Press.

GENTNER, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical* reasoning (pp.199-241). Cambridge : Cambridge University Press.

GENTNER, D. & JEZIORSKI, M. (1993). The shift from metaphor to analogy in Western science. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.447-480). Cambridge (MA) : Cambridge University Press.

GENTNER, D. & MARKMAN, A.B. (1993). Analogy — Watershed or Waterloo ? Structural alignment and the development of connectionist models of analogy. In S.J. Hanson, J.D. Cowan & C.L. Giles (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 5* (pp.855-862). San Mateo (CA) : Morgan Kaufmann Publishers.

GENTNER, D. & MARKMAN, A.B. (1997a). Structure Mapping in Analogy and Similarity. *American Psychologist, 52 (1)*, 45-56.

GENTNER, D. & MARKMAN, A.B. (1997b). Structural vs. syntactic matching: Analogy entails common relations. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.927). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

GENTNER, D. & MEDINA, J. (1998). Similarity and the development of rules. In S. Sloman & L. Rips (Eds.), *Rules and similarity in human thinking.* N° spécial *Cognition, 65*, 263-297.

GENTNER, D., RATTERMAN, M.J. & FORBUS, K.D. (1993). The Roles of Similarity in Transfer: Separating Retrievability from Inferential Soundness. *Cognitive Psychology, 25*, 524-575.

GEORGE, C. (1993). Les mécanismes inférentiels dans le raisonnement humain. In J.-F. Le Ny (Ed.), *Intelligence naturelle et intelligence artificielle* (pp.87-114). Paris : Presses Universitaires de France.

GEORGE, C. (1997). *Polymorphisme du raisonnement humain. Une approche de la flexibilité de l'activité inférentielle.* Paris : Presses Universitaires de France.

GIBBS JR, R.W. (1993). Process and products in making sense of tropes. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.252-276). Cambridge (MA) : Cambridge University Press.

GIBBS JR, R.W. (1994). Figurative Thought and Figurative Language. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp.411-446). San Diego (CA) : Academic Press.

GIBBS JR, R.W. (1996). Why many concepts are metaphorical. *Cognition, 61*, 309-319.

GIGERENZER, G. (1994). Where Do New Ideas Come From? In M.A. Boden (Ed.), *Dimensions of Creativity* (pp.53-74). Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

GIGERENZER, G. & HUG, K. (1992). Reasoning about social contracts: cheating and perspective change. *Cognition, 43*, 127-171.

GILHOOLY, K.J. & FALCONER, W.A. (1974). Concrete and abstract terms and relations in testing a rule. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 26*, 355-359.

GINESTE, M.-D. (1997). *Analogie et cognition. Etude expérimentale et simulation informatique*. Paris : Presses Universitaires de France.

GINESTE, M.-D. & INDURKHYA, B. (1993). Modèles mentaux, analogie et cognition. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (Eds.), *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations* (pp.143-173). Paris : Masson.

GIORDAN, A. (1993). Les conceptions des apprenants. In J. Houssaye (Ed.), *La pédagogie : une encyclopédie pour aujourd'hui* (pp.259-274). Paris : ESF.

GIROTTO, V. (1993). Modèles mentaux et raisonnement. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (Eds.), *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations* (pp.101-119). Paris : Masson.

GIROTTO, V., GILLY, M., BLAYE, A. & LIGHT, P. (1989). Children's performance in the selection task: Plausibility and familiarity. *British Journal of Psychology, 80*, 79-85.

GIROTTO, V., LEGRENZI, P. & RIZZO, A. (1991). Event controllability in counterfactual thinking. *Acta Psychologica, 78*, 111-133.

GLUCKSBERG, S., MANFREDI, D.A. & MCGLONE, M.S. (1997). Metaphor Comprehension: How Metaphors Create New Categories. In T.B. Ward, S.M. Smith & J. Vaid (Eds.) (1997, pp.327-350).

GÖDEL, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der *PrincipiaMathematica* und verwandter Systeme, I. *Monatshefe für Math. und Phys.*, XXXVIII, 173-189.

GŒTHE, J.-W. (1808). *Faust*. Tr. fr. de G. de Nerval. Paris : Garnier-Flammarion, 1964.

GOLDSTONE, R.L. (1994). The role of similarity in categorization: providing a groundwork. *Cognition, 52*, 125-157.

GOLDSTONE, R.L. & BARSALOU, L.W. (1998). Reuniting perception and cognition. In S. Sloman & L. Rips (Eds.), *Rules and similarity in human thinking*. N° spécial *Cognition, 65*, 231-262.

GOLDSTONE, R.L. & MEDIN, D.L. (1994). Similarity, Interactive Activation, and Mapping: An Overview. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.321-362). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

GOODMAN, N. (1978). *Ways of Worlmaking*. Hackett Publishing Company. Tr. fr. de M.-D. Popelard, *Manières de faire des mondes*. Nîmes : Jacqueline Chambon, 1992.

GOTTFRIED, G.M. (1997a). Comprehending compounds: evidence for metaphoric skill? *Journal of Child Language, 24*, 163-186.

GOTTFRIED, G.M. (1997b). Using metaphors as modifiers: children's production of metaphoric compounds. *Journal of Child Language, 24*, 567-601.

GREGORY, R.L. (1968). Visual illusions. *Scientific American, 219 (5)*, 66-76.

GRIGGS, R.A. (1989). To "see" or not to "see": That is the selection task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 41A*, 517-529.

GRIGGS, R.A. & COX, J.R. (1982). The elusive thematic-materials effect in Wason's selection task. *British Journal of Psychology, 73*, 407-420.

GRIGGS, R.A. & COX, J.R. (1983). The effects of problem content and negation on Wason's selection task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 35A*, 519-533.

GRIZE, J.-B. (1993). Pensée logico-mathématique et sémiologie du langage. In O. Houdé & D. Miéville (Eds.), *Pensée logico-mathématique. Nouveaux objets interdisciplinaires* (pp.181-204). Paris : Presses Universitaires de France.

GRIZE, J.-B. (1997). *Logique et langage*. Gap : Ophrys.

GROSS, M. (1997). La traduction automatique. In *Les langues du monde. Pour la science, HS 17*, 126-130.

GUILLAUME, M. (1986). Axiomatique et logique. In J. Dieudonné (Ed.), *Abrégé d'histoire des mathématiques 1700-1900, 2e éd.* (pp.417-483). Paris : Hermann.
GUILLAUME, P. (1937). *La psychologie de la forme*. Paris : Flammarion, 1967.
GUTKNECHT, M. (1992). The 'Postmodern Mind': Hybrid Models of Cognition. *Connection Science, 4 (3-4)*, 339-364.

HAINARD, R. (1969). Réconciliation de l'homme et de la nature. In *Le guetteur de Lune* (pp.15-21). Paris/Genève : Hermé/Tribune, 1986.
HALL, R.P. (1989). Computational Approaches to Analogical Reasoning: A Comparative Analysis. *Artificial Intelligence, 39*, 39-120.
HAMPTON, J.A. (1997). Emergent Attributes in Combined Concepts. In T.B. Ward, S.M. Smith & J. Vaid (Eds.) (1997, pp.83-110).
HAMPTON, J.A. (1998). The Role of Similarity in How we Categorize the World. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.19-30).
HARRIS, C.L. (1994). Back-Propagation Representations for the Rule-Analogy Continuum. In J.A. Barnden & K.J. Holyoak (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.3. Analogy, Metaphor, and* Reminding (pp.282-326). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.
HARRIS, P.L., GERMAN, T. & MILLS, P. (1996). Children's use of counterfactual thinking in causal reasoning. *Cognition, 61*, 233-259.
HARRISON, H. & MINSKY, M. (1992). *The Turing Option*. New York : Warner Books. Tr. fr. de B. Sigaud, *Le problème de Turing*. Paris : Robert Laffont, 1994.
HAUGELAND, J. (1995). Farewell to GOFAI? In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.101-114). Princeton (NJ) : Princeton University Press.
HEBB, D.O. (1949). *The Organization of Behavior*. New York : John Wiley & Sons.
HILL, W.E. (1915). My wife and my mother-in-law. *Puck, November 16*, 11.
HINTON, G.E., MCCLELLAND & J.L., RUMELHART, D.E. (1986). Distributed Representations. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (1986, pp.77-109).
HOC, J.-M. & AMALBERTI, R. (1994). Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives*. N° spécial *Psychologie Française, 39 (2)*, 177-191.
HOFSTADTER, D. (1979). *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. New York : Basic Books. Tr. fr. de J. Henry et R. French, *Gödel, Escher, Bach: les Brins d'une Guirlande Eternelle*. Paris : InterEditions, 1985.
HOFSTADTER, D. (1979a). Cerveaux et pensées. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.377-410).
HOFSTADTER, D. (1979b). Intelligence artificielle : avenir. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.720-765).
HOFSTADTER, D. (1979c). *Contrafactus*. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.711-719).
HOFSTADTER, D. (1979d). *Où réside la signification ?* In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.178-199).
HOFSTADTER, D. (1979e). Intelligence artificielle : passé. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.665-710).
HOFSTADTER, D. (1979f). Esprits et pensées. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.414-438).
HOFSTADTER, D. (1979g). *Prélude...* In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.308-317).
HOFSTADTER, D. (1979h). ... *et fourmugue*. In D. Hofstadter (1979, tr. fr. 1985, pp.347-376).
HOFSTADTER, D. (1981). Rôles et analogies dans la pensée des humains et des machines. In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.570-587).
HOFSTADTER, D. (1982a). Des variations sur un thème considérées comme l'essence de la créativité. In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.220-240).

HOFSTADTER, D. (1982b). Metafont, métamathématiques et métaphysique. Commentaires sur l'article de Donald Knuth «Le concept d'une métafonte». In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.249-279).

HOFSTADTER, D.R. (1982c). Analogies and Metaphors to Explain Gödel's Theorem. *Two-Year College Mathematics Journal, 13 (2)*, 98-114.

HOFSTADTER, D. (1982d). Sur le paradoxe qu'il y aurait à mécaniser la créativité. In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.545-563).

HOFSTADTER, D. (1982e). Eveil après le rêve booléen, ou «sous-cognition computationnelle». In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.663-689).

HOFSTADTER, D. (1983). Les déformations de parquet : un art subtil et complexe. In D. Hofstadter (1985, tr. fr. 1988, pp.178-197).

HOFSTADTER, D.R. (1983/1995). The Architecture of Jumbo. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.97-126).

HOFSTADTER, D.R. (1984a). The Copycat Project: An Experiment in Nondeterminism and Creative Analogies. *MIT Artificial Intelligence Laboratory Memo No.755*. CRCC #8, janvier.

HOFSTADTER, D.R. (1984b). Simple and Not-So-Simple Analogies in the Copycat Domain. CRCC #9, janvier.

HOFSTADTER, D. (1985). *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. New York : Basic Books. Tr. fr. de L. Rosenbaum, J.-B. Berthelin et J.-L. Bonnetain, *Ma Thémagie : En quête de l'essence de l'esprit et du sens*. Paris : InterEditions, 1988.

HOFSTADTER, D.R. (1988). Common sense and conceptual halos (*Commentary*/Smolensky: Proper treatment of connectionism). *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 35-37.

HOFSTADTER, D.R. (1992). Past, Present, and Future of the Center for Research on Concepts and Cognition at Indiana University, Bloomington.

HOFSTADTER, D.R. (1993a). The Long Road from Copycat to Metacat. In M. Mitchell (1993, pp.235-244).

HOFSTADTER, D.R. (1993b). How could a copycat ever be creative? In *Working Notes, AAAI Spring Symposium Series, Symposium: AI and Creativity* (pp.1-10). Stanford University.

HOFSTADTER, D.R. (1995a). The Ineradicable Eliza Effect and Its Dangers. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.155-168).

HOFSTADTER, D. (1995b). L'universalité du chaos. In *Le chaos. Pour la science, HS 6*, 18-26.

HOFSTADTER, D.R. (1995c). To Seek Whence Cometh a Sequence. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.13-86).

HOFSTADTER, D.R. (1995d). The Intoxicating World of Alphabets and Their Styles. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.401-406).

HOFSTADTER, D.R. (1996). Chess tumbles to computers... Musical beauty next in line? Conférence-récital au Sweeney Lecture Hall, 29 février.

HOFSTADTER, D.R. (1997a). Halos, Analogies, Spaces, and Blends. In D.R. Hofstadter (1997b, pp.305-336).

HOFSTADTER, D.R. (1997b). *Le Ton beau de Marot. In Praise of the Music of Language*. New York : Basic Books.

HOFSTADTER, D.R. (à paraître a). Analogy as the Core of Cognition. In K.J. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.), *Advances in Analogy Research Integration of Theory and Data from the Cognitive, Computational and Neural Sciences*. The MIT Press.

HOFSTADTER, D.R. (à paraître b). Staring EMI Straight in the Eye — and Doing My Best Not to Flinch. In D. Cope (Ed.), *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. The MIT Press.

HOFSTADTER, D. & DENNETT, D. (Eds.) (1981). *The Mind's I*. New York : Basic Books. Tr. fr. de J. Henry, *Vues de l'esprit. Fantaisies et réflexions sur l'être et l'âme*. Paris : InterEditions, 1987.

HOFSTADTER, D.R. & THE FLUID ANALOGIES RESEARCH GROUP (1995). *Fluid Concepts and Creative Analogies. Computer Models of the Fundamental Mechanisms of Thought*. Somerset : The Penguin Press, 1997.

HOFSTADTER, D.R. & FRENCH, R. (1995). The Emergent Personality of Tabletop, a Perception-based Model of Analogy-making. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.377-399).

HOFSTADTER, D.R. & GABORA, L. (1989). Synopsis of the Workshop on Humor and Cognition. *Humor — International Journal of Humor Research, 2-4*, 417-440.

HOFSTADTER, D.R. & MCGRAW, G. (1995). Letter Spirit: Esthetic Perception and Creative Play in the Rich Microcosm of the Roman Alphabet. In D.R. Hofstadter & the Fluid Analogies Research Group (1995, pp.407-466).

HOFSTADTER, D.R. & MITCHELL, M. (1988). Conceptual Slippage and Analogy-Making: A Report on the Copycat Project. In *Proceedings of the Tenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.601-607). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

HOFSTADTER, D.R. & MITCHELL, M. (1994). The Copycat Project: A Model of Mental Fluidity and Analogy-Making. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.31-112). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

HOFSTADTER, D.R., MITCHELL, M. & FRENCH, R.M. (1987). Fluid Concepts and Creative Analogies: A Theory and its Computer Implementation. FARG Document 87-1, Mars.

HOFSTADTER, D. & MOSER, D. (1989). To err is human; to study error-making is cognitive science. *Michigan Quaterly Review, XXVIII, 2*, 185-215.

HOLLAND, J.H., HOLYOAK, K.J., NISBETT, R.E. & THAGARD, P.R. (1986). Analogy. In J.H. Holland, K.J. Holyoak, R.E. Nisbett & P.R. Thagard, *Processes of Inference, Learning, and Discovery* (pp.287-319). Cambridge (MA) : The MIT Press.

HOLYOAK, K.J. & BARNDEN, J.A. (1994). Introduction. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.1-27). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

HOLYOAK, K., GENTNER, D. & KOKINOV, B. (1998). *Advances in Analogy Research: Integration of Theory and Data from the Cognitive, Computational, and Neural Sciences*. Sofia : New Bulgarian University.

HOLYOAK, K.J. & HUMMEL, J.E. (1998). Analogy in a Physical Symbol System. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.9-18).

HOLYOAK, K.J., NOVICK, L.R. & MELZ, E.R. (1994). Component Processes in Analogical Transfer: Mapping, Pattern Completion, and Adaptation. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.113-180). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

HOLYOAK, K.J. & THAGARD, P. (1989). Analogical Mapping by Constraint Satisfaction. *Cognitive Science, 13*, 295-355.

HOLYOAK, K.J. & THAGARD, P. (1995). *Mental Leaps. Analogy in Creative Thought*. Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

HOPFIELD, J.J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 79*, 2554-2558.

HOPFIELD, J.J. (1984). Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-states neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 81*, 3088-3092.

HUGO, V. (1864). *Promontorium Somnnii. Le Promontoire du Songe*. Paris : Les Belles Lettres, 1993.

HUMMEL, J.E., BURNS, B. & HOLYOAK, K.J. (1994). Analogical Mapping by Dynamic Binding: Preliminary Investigations. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.416-445). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

HUMMEL, J.E. & HOLYOAK, K.J. (1997). Distributed Representations of Structure: A Theory of Analogical Access and Mapping. *Psychological Review, 104 (3)*, 427-466.

HUNTER, D. & INDURKHYA, B. (1998). 'Don't Think, but Look!' A Gestalt Interactionist Approach to Legal Thinking. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.345-353).

HUNTER, L.E. (1988). Some memory, but no mind (*Commentary*/Smolensky: Proper treatment of connectionism). *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 37-38.

HUTEAU, M. (1991). Organisation catégorielle des objets sociaux: portée et limites des conceptualisations de E. Rosch. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.71-88).

IREM GRENOBLE (1980). Quel est l'âge du capitaine ? *Bulletin de l'association des professeurs de mathématiques de l'enseignement public, 39*, 235-243.

JACKSON, S.L. & GRIGGS, R.A. (1990). The elusive pragmatic reasoning schemas effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 42A*, 353-373.

JODOUIN, J.-F. (1990). Présentation des modèles connexionnistes. In D. Memmi & Y.M. Visetti (Eds.), *Modèles connexionnistes.* N° spécial *Intellectica, 9-10*, 9-39.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1980). Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science, 4*, 71-115. Tr. fr. de M. Turbiaux, «Modèles mentaux en science cognitive». In M. Turbiaux (Ed.), *Aspects de la psychologie anglaise contemporaine.* N° spécial *Bulletin de Psychologie, 383*, 60-88, 1987.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1988). Induction, concepts et probabilité. In *The Computer and the Mind.* Tr. fr. de J. Henry, *L'ordinateur et l'esprit* (pp.249-269). Paris : Odile Jacob, 1994.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1989a). Analogy and the exercise of creativity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical* reasoning (pp.313-331). Cambridge : Cambridge University Press.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1989b). Mental Models. In M.I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science* (pp.469-499). Cambridge (MA) : The MIT Press.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1993). La théorie des modèles mentaux. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu & M. Cavazza (Eds.), *Les modèles mentaux. Approche cognitive des représentations* (pp.1-22). Paris : Masson.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1994). A model theory of induction. *International Studies in the Philosophy of Science, 8 (1)*, 5-29.

JOHNSON-LAIRD, P.N. & BELL, V. (1997). A Model Theory of Modal Reasoning. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.349-353). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

JOHNSON-LAIRD, P.N. & BYRNE, R.M. (1991). The Cognitive Science of Deduction. In *Deduction* (pp.17-40). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates. Reproduit in P. Thagard (Ed.), *Mind Readings. Introductory Selections on Cognitive Science* (pp.29-58). Cambridge (MA) : The MIT Press, 1998.

JOHNSON-LAIRD, P.N. & BYRNE, R.M.J. (1993). Précis of *Deduction* (with Open Peer Commentary). *Behavioral and Brain Sciences, 16*, 323-380.

JOHNSON-LAIRD, P.N. & GOLDVARG, Y. (1997). How to Make the Impossible Seem Possible. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.354-357). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

JONES, S.S. & SMITH, L.B. (1993). The Place of Perception in Children's Concepts. *Cognitive Development, 8*, 113-139.

JUARROZ, R. (1994). La vision qui crée ce qu'elle voit (entretien avec I.A. Maréchal). In I.A. Maréchal (Ed.), *Sciences et imaginaire* (pp.221-231). Paris : Albin Michel.

KAHNEMAN, D. & TVERSKY, A. (1982). The simulation heuristic. In D. Kahneman, P. Slovic & A. Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainly: Heuristics and biases* (pp.201-208). New York : Cambridge University Press.

KAHNEMAN, D. & VAREY, C.A. (1990). Propensities and counterfactuals: The loser that almost won. *Journal of Personality and Social Psychology, 59*, 1101-1110.

KAPLAN, F. (1999). La dérive naturelle du lexique. In B. Vivicorsi, M. Polge, S. Cayrou, F. de Gaulejac, G. Chicoisne, V. Cotten, M. Le Calvez & E. Perrone (Eds.) (1999). *Interdisciplinarité et cognition. Les multiples approches, du traitement de l'information aux systèmes dynamiques et à l'énaction. Actes du IIIe Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences* Cognitives (pp.122-128). Soulac, 26-28 avril 1999.

KAPLAN, S., WEAVER, M. & FRENCH, R. (1990). Active Symbols and Internal Models: Towards a Cognitive Connectionism. *AI & Society, 4*, 51-71.

KEANE, M. (1987). On Retrieving Analogues When Solving Problems. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 39A*, 29-41.

KEANE, M.T.G. (1990). Are there biases in analogical reasoning? In J.-P. Caverni, J.-M. Fabre & M. Gonzalez (Eds.), *Cognitive biases* (pp.169-181). Elsevier Science Publishers.

KEANE, M.T. (1993). The Cognitive Processes Underlying Complex Analogies: Theoretical and Empirical Advances. *Ricerche di Psicologia, 17 (2)*, 9-36.

KEANE, M.T. (1996). On Adaptation in Analogy: Tests of Pragmatic Importance and Adaptability in Analogical Problem Solving. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A (4)*, 1062-1085.

KEANE, M.T. (1997). What Makes an Analogy Difficult? The Effects of Order and Causal Structure on Analogical Mapping. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 23 (4)*, 1-22.

KEANE, M.T., LEDGEWAY, T. & DUFF, S. (1994). Constraints on Analogical Mapping: A Comparison of Three Models. *Cognitive Science, 18*, 387-438.

KEIL, F.C. (1987). Conceptual development and category structure. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and Conceptual Development. Ecological and intellectual factors in categorization* (pp.175-200). Cambridge : Cambridge University Press.

KIHLSTROM, J.F. (1996). Perception without awareness of what is perceived, learning without awareness of what is learned. In M. Velmans (Ed.), *The Science of Consciousness. Psychological, Neuropsychological and Clinical Reviews* (pp.23-46). London : Routledge.

KLEIBER, G. (1991). Prototype et prototypes : encore une affaire de famille. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.103-129).

KOESTLER, A. (1964). *The Act of Creation.* Tr. fr. de G. Fradier, *Le cri d'Archimède.* Calmann-Lévy, 1965.

KÖHLER, W. (1929). *Gestalt Psychology.* New York : Liveright. Tr. fr. de S. Bricianer, *Psychologie de la forme.* Gallimard, 1964.

KOKINOV, B.N. (1994). A Hybrid Model of Reasoning by Analogy. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.247-318). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

KOKINOV, B. (1997). A Dynamic Theory of Implicit Context. In *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Science (ECCS '97)* (pp.252-255). Manchester (U.K.), 9-11 avril.

KOKINOV, B. (1998). Analogy is like Cognition: Dynamic, Emergent, and Context-Sensitive. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.96-105).

KOTOVSKY, K., HAYES, J.R. & SIMON, H.A. (1985). Why are Some Problems Hard? Evidence from the Tower of Hanoï. *Cognitive Psychology, 17*, 248-294.

KROGER, J.K. & HOLYOAK, K.J. (1997). What It Means to Be "the Same": The Impact of Relational Complexity on Processing Efficiency. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.406-411). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

LAHAM, D. (1997). Latent Semantic Analysis Approaches to Categorization. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.979). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

LAKOFF, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things*. Chicago : Chicago University Press.
LAKOFF, G. (1993). The contemporary theory of metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.202-251). Cambridge (MA) : Cambridge University Press.
LAKOFF, G. & JOHNSON, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago : University of Chicago Press. Tr. fr. de M. de Fornel (et J.-J. Lecercle), *Les métaphores dans la vie quotidienne*. Paris : Minuit, 1985.
LAMBERT, D. (1994). De l'intelligence formelle à l'intelligence artificielle. In B. Feltz & D. Lambert (Eds.), *Entre le corps et l'esprit* (pp.105-113). Liège : Pierre Mardaga.
LANDAU, B. (1994). Object Shape, Object Name, and Object Kind: Representation and Development. *The Psychology of Learning and Motivation, 31*, 253-304.
LANDAUER, T.K. & DUMAIS, S.T. (1997). A Solution to Plato's Problem: The Latent Semantic Analysis Theory of Acquisition, Induction, and Representation of Knowledge. *Psychological Review, 104 (2)*, 211-240.
LANGE, T.E. & WHARTON, C.M. (1994). REMIND: Retrieval From Episodic Memory by Inferencing and Disambiguation. In J.A. Barnden & K.J. Holyoak (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.3. Analogy, Metaphor, and Reminding* (pp.29-94). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.
LANGLEY, P., SIMON, H.A., BRADSHAW, G.L. & ZYTKOW, J.M. (1987). *Scientific discovery: Computational explorations of the creative processes*. Cambridge (MA) : The MIT Press.
LANGLEY, P. & ZYTKOW, J.M. (1988). Data-Driven Approaches to Empirical Discovery. *Technical Report 88-24*. University of California, Irvine, octobre.
LAURENCE, S. & MARGOLIS, E. (1999). Concepts and Cognitive Science. In E. Margolis & S. Laurence (Eds.), *Concepts: Core Readings* (pp.3-81). Cambridge (MA) : A Bradford Book/The MIT Press.
LAURIÈRE, J.L. (1986). Le dossier actuel de l'intelligence artificielle : les systèmes experts. In A. Demailly & J.L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.60-71). Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
LAW, K., FORBUS, K.D. & GENTNER, D. (1994). Simulating Similarity-Based Retrieval: A Comparison of ARCS and MAC/FAC. In *Proceedings of the Sixteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.543-548). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.
LEFEVRE, A. (1993). Les biomathématiciens de Santa Fe. In *Les secrets du vivant. Science & Vie, HS 184*, 152-156.
LE GOFF, J. (1998). Jésus a-t-il ri ? In *Le rire. Sciences et Avenir, HS 115*, 62-63.
LEGRENZI, P. & SONINO, M. (1998). Biases, contexts and choices. In A.C. Quelhas & F. Pereira (Eds.), *Cognition and Context* (pp.251-269). N° spécial *Análise Psicológica*.
LE MOIGNE, J.-L. (1986a). Genèse de quelques nouvelles sciences : de l'intelligence artificielle aux sciences de la cognition. In J.-L. Le Moigne (Ed.), *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence* (pp.15-54). Fondation Diderot/Librairie Fayard.
LE MOIGNE, J.L. (1986b). Un nouvel esprit scientifique: une biographie de H.A. Simon, suivie d'une bibliographie commentée de l'œuvre de H.A. Simon. In A. Demailly & J.L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.638-673). Lyon : Presses Universitaires de Lyon.
LENAT, D.B. & GUHA, R.V. (1990). *Building Large Knowledge-Based Systems: Representations and Inference in the CYC Project*. Reading (MA) : Addison-Wesley.
LENAY, C. (1993). Homo computationalis. In *Des sciences contre l'homme, vol.2. Au nom du Bien*. N° spécial *Autrement, 9*, 104-119.
LESTAGE, P. (1994a). Les nouveaux paradigmes : présentation théorique. In F. Bigrel & F. Scribot (Eds.), *A propos du vivant : Les nouveaux paradigmes et la performance* (pp.51-91). Talence : CREPS Aquitaine.

LESTAGE, P. (1994b). Complexité et structures cérébrales : Piaget et Prigogine. In D. de Béchillon (Ed.), *Les défis de la complexité. Vers un nouveau paradigme de la connaissance ?* (pp.173-193). Paris : L'Harmattan.

LETZKUS, P. (1999). *Le rôle du raisonnement par analogie dans l'activité de conception.* Mémoire de DEA effectué sous la direction de N. Bonnardel et E. Cauzinille-Marmèche, Université de Provence.

LEVIALDI, S. (1999). Presence, telepresence and usability. In V. Cantoni, A. Setti, V. Di Gesù & D. Tegolo (Eds.), *Human and Machine Perception 2: Emergence, Attention, and Creativity* (pp.195-204). New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers.

LEVINTON, J. (1997). Le Big Bang de l'évolution animale. In *L'évolution. Pour la science, HS 14,* 48-55.

LÉVY, F. (1994). Raisonnement et Intelligence Artificielle. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives.* N° spécial de *Psychologie Française, 39 (2),* 213-222.

LEWIN, R. (1993). *Complexity, Life at the Edge of Chaos.* New York : Macmillan Publishing Company. Tr. fr. de B. Loubières, *La complexité, une théorie de la vie au bord du chaos.* Paris : InterEditions, 1994.

LIÉNARD, J.-S. (1999). Variability, Ambiguity and Attention: a Perception Model based on Analog Induction. In V. Cantoni, A. Setti, V. Di Gesù & D. Tegolo (Eds.), *Human and Machine Perception 2: Emergence, Attention, and Creativity* (pp.87-98). New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers.

LIVET, P. (1986). Simulation et représentation. In A. Demailly & J.-L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.274-282). Lyon : Presses Universitaires de Lyon.

LIVET, P. (1988). Image, perception et représentation. In *Perception visuelle.* N° spécial *Intellectica, 5,* 33-56.

LIVET, P. (1996). Catégorisation et connexionnisme. In V. Rialle & D. Fisette (Eds.), *Penser l'esprit. Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive* (pp.375-391). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

LIVET, P. (1998). Defeasible rules of inference can formalize a robust notion of analogy (robust because taking into account disanalogies). Conférence donnée à Lisbonne, 29 mai.

LIVET, P. (1999). Les fondations, origines et développements des Sciences de la Cognition. Conférence à la *7ème Journée d'Etude d'ACCION/Cognisud, «L'interdisciplinarité en Sciences de la Cognition».* Marseille, 28 janvier.

LIVINGSTON, K.R. & ANDREWS, J.K. (1997). Context and Concept Formation. In *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Science (ECCS '97)* (pp.235-238). Manchester (U.K.), 9-11 avril.

LOEWENSTEIN, J. & GENTNER, D. (1998). Relational Language Facilitates Analogy in Children. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.615-620). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

LONGUET-HIGGINS, C. (1971). Artificial Intelligence. In A. Summerfield (Ed.), *Cognitive Psychology.* N° spécial *British Medical Bulletin, 27 (3),* 218-221.

LUBART, T.I. (1994). Creativity. In R.J. Sternberg (Ed.), *Thinking and problem solving* (pp.289-332). San Diego (CA) : Academic Press.

LUBART, T. (1997). Créativité et différences individuelles. In J. Juhel, T. Marivain & G. Rouxel (Eds.), *Psychologie et différences individuelles* (pp.201-205). Rennes : Presses Universitaires de Rennes.

LUBART, T.I. & STERNBERG, R.J. (1995). An Investment Approach to Creativity: Theory and Data. In S.M. Smith, T.B. Ward & R.A. Finke (Eds.), *The Creative Cognition Approach* (pp.271-302). Cambridge (MA) : The MIT Press.

MACWHINNEY, B. (1993). Connections and symbols: closing the gap (Discussion). *Cognition, 49,* 291-296.

MANDLER, J.M. (1983). Structural invariants in development. In L.S. Libaen (Ed.), *Piaget and the foundations of knowledge*. Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MARESCHAL, D. & FRENCH, R.M. (1997). A Connectionist Account of Interference Effects in Early Infant Memory and Categorization. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.484-489). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MARGOLIS, E. (1994). A reassessment of the shift from the classical theory of concepts to prototype theory. *Cognition, 51*, 73-89.

MARKMAN, A.B. (1997). Constraints on Analogical Inference. *Cognitive Science, 21 (4)*, 373-418.

MARKMAN, A.B. & GENTNER, D. (1993a). Splitting the Differences: A Structural Alignment View of Similarity. *Journal of Memory and Language, 32*, 517-535.

MARKMAN, A.B. & GENTNER, D. (1993b). Structural Alignment during Similarity Comparisons. *Cognitive Psychology, 25*, 431-467.

MARKMAN, A.B. & GENTNER, D. (1996). Commonalities and differences in similarity comparisons. *Memory & Cognition, 24 (2)*, 235-249.

MARSH, R.L., LANDAU, J.D. & HICKS, J.L. (1996). How examples may (and may not) constrain creativity. *Memory & Cognition, 24 (5)*, 669-680.

MARSH, R.L., WARD, T.B. & LANDAU, J.D. (1999). The inadvertent use of prior knowledge in a generative cognitive task. *Memory & Cognition, 27 (1)*, 94-105.

MARSHALL, J.B. (1997). From Copycat to Metacat: Developing a Self-Watching Framework for Analogy-Making. In *Proceedings of Mind II: Computational Models of Creative Cognition*. Dublin, Irlande, septembre.

MARSHALL, J.B. & HOFSTADTER, D.R. (1998). Making Sense of Analogies in Metacat. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.118-123).

MASSARO, D.W. (1989a). Visual Perception. In *Experimental Psychology. An Information Processing Approach* (pp.254-289). Harcourt Brace Jovanovich Publishers.

MASSARO, D.W. (1989b). Memory. In *Experimental Psychology. An Information Processing Approach* (pp.340-369). Harcourt Brace Jovanovich Publishers.

MASSARO, D.W. (1989c). Theory of Signal Detectability. In *Experimental Psychology. An Information Processing Approach* (pp.210-229). Harcourt Brace Jovanovich Publishers.

MATHESON, R. (1951). Clothes Make the Man. Tr. fr. de J. Chambon, «L'habit fait l'homme». In *Derrière l'écran, nouvelles 1* (pp.59-65). Flammarion, 1999.

MATHIEU, J.-L. (Ed.) (1997). *Dictionnaire étymologique de mots inventés*. Saint-Maximin : Théétète.

MAYER, R.E. (1993). The instructive metaphor: Metaphoric aids to students' understanding of science. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.561-578). Cambridge (MA) : Cambridge University Press.

MAZET, C. (1991). Fonctionnalité dans l'organisation catégorielle. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.89-100).

MCCLELLAND, J.L., RUMELHART, D.E. & HINTON, G.E. (1986). The Appeal of Parallel Distributed Processing. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (1986, pp.3-44).

MCCLELLAND, J.L., RUMELHART, D.E. & THE PDP RESEARCH GROUP (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, vol.2. Psychological and Biological Models*. Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

MCCULLOCH, W.S. & PITTS, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics, 5*, 115-133. Tr. fr. d'A. Pélissier, «Un calcul logique des idées immanentes dans l'activité nerveuse». In A. Pélissier & A. Tête (Eds.) (1995, pp.62-69).

MEDIN, D.L. (1989). Concepts and Conceptual Structure. *American Psychologist, 44 (12)*, 1469-1481.

MEDIN, D.L., GOLDSTONE, R.L. & GENTNER, D. (1993). Respects for Similarity. *Psychological Review, 100 (2)*, 254-278.

MEDIN, D. & ORTONY, A. (1989). Psychological essentialism. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp.179-195). Cambridge : Cambridge University Press.

MEDVEC, V.H., MADEY, S.F. & GILOVICH, T. (1995). When Less Is More: Counterfactual Thinking and Satisfaction Among Olympic Medalists. *Journal of Personality and Social Psychology, 69 (4)*, 603-610.

MEULEMANS, T. (1998). Apprentissage implicite, mémoire implicite et développement. In S. Nicolas & P. Perruchet (Eds.), *Mémoire et apprentissage implicite.* N° spécial *Psychologie Française, 43 (1)*, 27-37.

MEUNIER, J.-G. (1992). Le problème de la catégorisation dans la représentation des connaissances. *Intellectica, 13-14*, 7-44.

MICHALSKI, R.S. (1989). Two-tiered concept meaning, inferential matching, and conceptual cohesiveness. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogicalreasoning* (pp.122-145). Cambridge : Cambridge University Press.

MILLER, G.A. (1996). *The Science of Words.* New York : Scientific American Library.

MILLER, N.E. & DOLLARD, J. (1941). *Social Learning & Imitation.* Forge Village (MA) : Yale University Press, 1964.

MINSKY, M. (1991). Logical versus analogical or symbolic versus connectionist or neat versus scruffy. *AI Magazine, summer 1991*, 34-51.

MINSKY, M.A. & PAPERT, S. (1969). *Perceptrons.* Cambridge (MA) : The MIT Press.

MITCHELL, M. (1993). *Analogy-Making as Perception: A Computer Model.* Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

MITCHELL, M. (1998). A Complex-Systems Perspective on the "Computation vs. Dynamics" Debate in Cognitive Science. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.710-715). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MITCHELL, M. & FORREST, S. (1995). Genetic Algorithms and Artificial Life. In C.G. Langton (Ed.), *Artificial Life: An Overview* (pp.267-289). Cambridge (MA) : The MIT Press.

MITCHELL, M. & HOFSTADTER, D.R. (1989). The Role of Computational Temperature in a Computer Model of Concepts and Analogy-Making. In *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.765-772). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MITCHELL, M. & HOFSTADTER, D.R. (1990). The emergence of understanding in a computer model of concepts and analogy-making. *Physica D, 42*, 322-334.

MONAGHAN, P. & STENNING, K. (1998). Effects of representational modality and thinking style on learning to solve reasoning problems. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.716-721). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MORFAUX, L.-M. (1980). *Vocabulaire de la philosophie et des sciences humaines.* Paris : Armand Colin.

MORRISON, C.T. & DIETRICH, E. (1995). Structure-Mapping vs. High-level Perception: The Mistaken Fight Over The Explanation of Analogy. In *Proceedings of the Seventeenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.678-682). Hillsdale (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

MOYNOT, O., DAUCÉ, E. & PINAUD, O. (1999). Equations de champ moyen pour les réseaux de neurones à deux populations. In B. Vivicorsi, M. Polge, S. Cayrou, F. de Gaulejac, G. Chicoisne, V. Cotten, M. Le Calvez & E. Perrone (Eds.) (1999). *Interdisciplinarité et cognition. Les multiples approches, du traitement de l'information aux systèmes dynamiques et à l'énaction. Actes du III[e] Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences* Cognitives (pp.169-177). Soulac, 26-28 avril 1999.

MUCCHIELLI, L. (1995). La Gestalt : l'apport de la psychologie de la forme. Dossier «La perception, filtre de la réalité». *Sciences Humaines, 49*, 26-27.

MURPHY, G.L. (1997). Polysemy and the Creation of Novel Word Meanings. In T.B. Ward, S.M. Smith & J. Vaid (Eds.) (1997, pp.235-265).

MURPHY, G.L. & MEDIN, D.L. (1985). The role of theories in conceptual coherence. *Psychological Review, 92*, 289-316.

MURPHY, G.L. & WRIGHT, J.C. (1984). Changes in Conceptual Structure With Expertise: Differences Between Real-World Experts and Novices. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 10 (1)*, 144-155.

MYLES-WORSLEY, M., JOHNSTON, W.A. & SIMONS, M.A. (1988). The Influence of Expertise on X-Ray Image Processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 14 (3)*, 553-557.

NADAL, J.-P. (1993). *Réseaux de neurones : de la physique à la psychologie*. Paris : Armand Colin.

NEISSER, U. (1987). From direct perception to conceptual structure. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and Conceptual Development. Ecological and intellectual factors in categorization* (pp.11-24). Cambridge : Cambridge University Press.

NEISSER, U., BOODOO, G., BOUCHARD JR, T.J., BOYKIN, A.W., BRODY, N., CECI, S.J., HALPERN, D.F., LOEHLIN, J.C., PERLOFF, R., STERNBERG, R.J. & URBINA, S. (1996). Intelligence: Knowns and Unknowns. *American Psychologist, 51 (2)*, 77-101.

VON NEUMANN, J. (1948). The General and Logical Theory of Automata. In L.A. Jeffries (Ed.), *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*. New York : John Wiley and Sons, 1951. Tr. fr. d'A. Pélissier, «La théorie générale et logique des automates». In A. Pélissier & A. Tête (Eds.) (1995, pp.98-145).

VON NEUMANN, J. (1956). Probabilistic logics and the synthesis of reliable organisms from unreliable components. In C.E. Shannon & J. McCarthy (Eds.), *Automata Studies*. Princeton (NJ) : Princeton University Press.

NEWELL, A. & SIMON, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs (NJ) : Prentice-Hall.

NINIO, J. (1998). *La science des illusions*. Paris : Odile Jacob.

NOIZET, G. (1983). Et l'inférence perceptive ? Questions à J.-F. Richard sur le champ de l'inférence. *Intellectica, 5*, 50-51.

NONNON, E. (1998). La notion de point de vue dans le discours. *Pratiques, 100*, 99-123.

NORGE (1969). *Les cerveaux brûlés*. Flammarion.

NOSOFSKY, R.M. (1984). Choice, Similarity, and the Context Theory of Classification. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 10 (1)*, 104-114.

O'BRIEN, D.P. (1995). Finding Logic in Human Reasoning Requires Looking in the Right Places. In S.E. Newstead & J. St.B. T. Evans (Eds.), *Perspectives ON Thinking and Reasoning* (pp.189-216). Hove : Lawrence Erlbaum Associates.

OLÉRON, P. (1995). Un examen critique des modèles mentaux de Johnson-Laird. *L'Année psychologique, 95*, 693-706.

ORTONY, A. (1988). Are Emotion Metaphors Conceptual or Lexical? A review of *Metaphors of Anger, Pride and Love: A Lexical Approach to the Structure of Concepts*, by Z. Kövecses (1986). *Cognition and Emotion, 2 (2)*, 95-103.

ORTONY, A. (1997). A Lectures Series in Cognitive Science "Metaphor & Analogy". IRST, Povo, Trento, Italie, 18-21 juin.

ORVAS, G. (1998). Les homologues monstrueux de l'homme. In *1000 ans de sciences : IV - Qui sommes-nous ?*. N° spécial *Les Cahiers de Science & Vie, 46*, 20-21.

OVERTON, W.F., WARD, S.L., NOVECK, I.A., BLACK, J. & O'BRIEN, D.P. (1987). Form and content in the development of deductive reasoning. *Developmental Psychology, 23*, 22-30.

PACHERIE, E. (1991). Aristote et Rosch : un air de famille ? In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.279-294).

PACHERIE, E. (1995a). Les problèmes contemporains de la catégorisation. Conférence au *Séminaire d'Epistémologie des Sciences Cognitives*. Aix-en-Provence, 8 février.

PACHERIE, E. (1995b). Le fonctionnalisme : état des lieux. In E. Pacherie (Ed.), *Fonctionnalismes*. N° spécial de *Intellectica, 21*, 9-37.

PACHERIE, E. (1996). Domaines conceptuels et modularité. In V. Rialle & D. Fisette (Eds.), *Penser l'esprit. Des sciences de la cognition à une philosophie cognitive* (pp.175-185). Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.

PACTEAU, C. (1995). Catégorisation : des processus holistiques et analytiques. In J. Lautrey (Ed.), *Universel et différentiel en psychologie* (pp.131-157). Paris : Presses Universitaires de France.

PAILLARD, J. (1987). L'ordinateur et le cerveau : un contraste saisissant. *AFCET/Interfaces, 57*, 4-9.

PALMER, S.E. (1989). Levels of description in information-processing theories of analogy. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp.332-345). Cambridge : Cambridge University Press.

PAOUR, J.-L. (1995). Un entraînement pour développer les fondements du raisonnement inductif et analogique. In F.-P. Büchel (Ed.), *L'éducation cognitive. Le développement de la capacité d'apprentissage et son évaluation* (pp.267-283). Paris : Delachaux et Niestlé.

PARISOT, H. (1971). Pour franciser les jeux de langage d'"Alice". In H. Parisot (Ed.), *L'Herne 17 : Lewis Carroll* (pp.69-84). Paris : L'Herne, 1987.

PÉLISSIER, A. & TÊTE, A. (Eds.) (1995). *Sciences cognitives : textes fondateurs (1943-1950)*. Paris : Presses Universitaires de France.

PENROSE, L. & PENROSE, R. (1958). Impossible objects: A special type of visual illusion. *British Journal of Psychology, 49*, 31-33.

PENROSE, R. (1994). *Shadows of the Mind. A Search for the Missing Science of Consciousness*. Oxford University Press. Tr. fr. de C. Jeanmougin, *Les ombres de l'esprit. A la recherche d'une science de la conscience*. Paris : InterEditions, 1995.

PERELMAN, C. (1977). *L'empire rhétorique*. Paris : Vrin.

PERRUCHET, P. & NICOLAS, S. (1998). L'apprentissage implicite : un débat théorique. In S. Nicolas & P. Perruchet (Eds.), *Mémoire et apprentissage implicite*. N° spécial *Psychologie Française, 43 (1)*, 13-25.

PETERS, M.W. (1998). Towards Artificial Forms of Intelligence, Creativity, and Surprise. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.836-841). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

PETITOT, J. (1990). Le physique, le morphologique, le symbolique : remarques sur la vision. In J. Petitot (Ed.), *Sciences cognitives : quelques aspects problématiques*. N° spécial *Revue de synthèse, IVe S., 1-2*, 139-183.

PETRIE, H.G. & OSHLAG, R.S. (1993). Metaphor and learning. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.579-609). Cambridge (MA) : Cambridge University Press.

PETROV, A.A. & KOKINOV, B.N. (1998). Mapping Access in Analogy-Making: Independent or Interactive? A Simulation Experiment with AMBR. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.124-134).

PICARD, J. (1937). De l'invention à la preuve. Analogie, induction et déduction. *Actualités scientifiques et industrielles, 534*, 17-22.

PIERCE, K.A., DUNCAN, M.K., GHOLSN, B., RAY, G.E. & KAMBI, A.G. (1993). Cognitive load, schema acquisition, and procedural adaptation in non isomorphic analogical transfer. *Journal of Educational Psychology, 85 (1)*, 66-74.

PITRAT, J. (1982). Traduttore traditore... In *La science des robots. Science & Vie, HS 138*, 64-67.

PITRAT, J. (1985). La naissance de l'intelligence artificielle. In P. Vandeginste (Ed.), *La recherche en intelligence artificielle* (pp.19-49). Paris : Seuil, 1987.

PITRAT, J. (1995). L'intelligence dépend des caractéristiques de son support matériel (Jalons). In E. Pacherie (Ed.), *Fonctionnalismes*. N° spécial *Intellectica, 21*, 265-268.

PITTS, W. & MCCULLOCH, W.S. (1947). How we know universals: the perception of auditory and visual forms. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, *9*, 127-147.

PLATT, R.D. & GRIGGS, R.A. (1993). Facilitation in the abstract selection task: The effects of attentional and instructional factors. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *46A*, 591-613.

POLDRACK, R.A. & LOGAN, G.D. (1997). Fluency and response speed in recognition judgments. *Memory & Cognition*, *25 (1)*, 1-10.

POLGE, M. & VIVICORSI, B. (1999). Prolégomènes à une théorie analogique du raisonnement. Communication orale au *Congrès National de la Société Française de Psychologie*. Aix-en-Provence, 25-27 mai.

POLITZER, G. (1992). Logique mentale et raisonnement naturel. In D. Andler, P. Jacob, J. Proust, F. Récanati & D. Sperber (Eds.), *Epistémologie et cognition* (pp.79-86). Liège : Pierre Mardaga.

POLLARD, P. & EVANS, J.ST.B.T. (1987). Content and context effects in reasoning. *American Journal of Psychology*, *100*, 41-60.

PÓLYA, T. & TARNAY, L. (1997). Is Context *Really* a Problem? In *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Science (ECCS'97)* (pp.199-202). Manchester (U.K.), 9-11 avril.

POMEROL, J.-C. (1993). Multicriteria DSSs [Decision Support Systems]: State of the art and problems. *Rapport 93/32 du LAFORIA*, septembre.

POORTINGA, Y.H. (1997). Brown, Heisenberg and Lorenz. Predecessors of twenty-first-century psychology? In R. Fuller, P.N. Walsh & P. McGinley (Eds.), *A Century of Psychology* (pp.1-15). London : Routledge.

POTTER, J.K. (1993). *Horripilations: The Art of J.K. Potter*. Surrey : Paper Tiger.

PYLYSHYN, Z.W. (1984). *Computation and Cognition: Toward a Foundation for Cognitive Science*. Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

PYNTE, J. (1986). La notion de signification dans les sciences cognitives. In C. Bonnet, J.M. Hoc & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie, intelligence artificielle et automatique* (pp.179-190). Bruxelles : Pierre Mardaga.

QIN, Y. & SIMON, H.A. (1990). Laboratory replication of scientific discovery processes. *Cognitive Science*, *14*, 281-310.

RACCAH, P.-Y. (1991). Expertise et gradualité : connaissances et champs topiques. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.189-203).

RAMSCAR, M., PAIN, H. & COOPER, R. (1997). Is there a Place for Semantic Similarity in the Analogical Mapping Process? In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.632-637). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

RASTIER, F. (1991a). *Sémantique et recherches cognitives*. Paris : Presses Universitaires de France.

RASTIER, F. (1991b). Catégorisation, typicalité et lexicologie : préliminaires critiques. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.259-277).

REBER, A.S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*, 855-863.

REDDY, D.R., ERMAN, L.D., FENNELL, R.D. & NEELY, R.B. (1973). The HEARSAY speech understanding system: An example of the recognition process. In *Proceedings of the Third International Joint Conference on Artificial Intelligence*. Stanford (CA).

REED, S.K. (1996). *Cognition, Theory and Applications (4th ed.)*. Brooks/Cole. Tr. fr. de T. Blicharski et P. Casenave-Tapie, *Cognition. Théories et applications*. Bruxelles : De Boeck Université, 1999.

REHLING, J. & HOFSTADTER, D. (1997). Letter Spirit: Modeling Creativity in a Visual Domain. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.1022). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

RICHARD, J.-F. (1984). La construction de la représentation du problème. In J.-F. Richard (Ed.), *Résoudre des problèmes : au laboratoire, à l'école, au travail.* N° spécial *Psychologie Française, 29 (3/4)*, 226-230.

RICHARD, J.-F. (1994). La résolution de problèmes : bilan et perspectives. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives.* N° spécial *Psychologie Française, 39 (2)*, 161-175.

RICHARD, J.-F. (1998). Présentation. Communication invitée aux *Journées "Prospectives" de la Société Française de Psychologie «Le Raisonnement : Questions Vives et Prospective»*. Paris, 9-10 décembre.

RICHARD, J.-F. & KEKENBOSCH, C. (1995). Les structures de connaissance. In R. Ghiglione & J.-F. (Eds.), *Cours de psychologie, vol.6. Processus et applications* (pp.208-227). Paris : Dunod.

RICHARD, J.-F. & RICHARD, A. (1992). Les représentations. In R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds.), *Cours de psychologie, vol.1. Origines et bases* (pp.427-471). Paris : Dunod.

RIO, M. (1989). *Merlin.* Paris : Seuil.

RIPOLL, T. (1992). La recherche sur le raisonnement par analogie : objectifs, difficultés et solutions. *L'Année psychologique, 92*, 263-288.

RIPOLL, T. (1993). *Recherche en mémoire d'un problème analogue.* Thèse de doctorat effectuée sous la direction de C. Bastien, Université de Provence.

RIPOLL, T. (1998a). Why This Makes Me Think of That. *Thinking and Reasoning, 4 (1)*, 15-43.

RIPOLL, T. (1998b). Raisonnement et résolution de problèmes. In J.-L. Roulin (Ed.), *Psychologie cognitive* (pp.385-440). Rosny : Bréal.

RIPOLL, T. & COULON, D. (soumis). Le raisonnement par analogie : une analyse descriptive et critique des modèles du mapping.

ROBERTSON, R. & COMBS, A. (Eds.) (1995). *Chaos Theory in Psychology and the Life Sciences.* Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

ROSCH, E. (1973). Natural Categories. *Cognitive Psychology, 4*, 328-350.

ROSCH, E., MERVIS, C.B., GRAY, W.D., JOHNSEN, D.M. & BOYES-BRAEM, P. (1976). Basic Objects in Natural Categories. *Cognitive Psychology, 8*, 382-440.

ROSENBLATT, F. (1958). The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review, 65*, 368-408.

ROSSI, M. & PETER-DEFARE, E. (1998). *Les lapsus, ou comment notre fourche a langué.* Paris : Presses Universitaires de France.

ROSSI, S. (1999). *Test d'hypothèses dans la découverte de règles. Nouvelles approches du pistage des stratégies de confirmation et d'infirmation d'hypothèses.* Thèse de doctorat effectuée sous la direction de J.-P. Caverni, Université de Provence.

RUMELHART, D.E. (1979). Some problems with the notion of literal meanings. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.71-82). Cambridge (MA) : Cambridge University Press, 1993.

RUMELHART, D.E. (1989). The Architecture of Mind: A Connectionist Approach. In M.I. Posner (Ed.), *Foundation of Cognitive Science* (pp.133-159). Cambridge (MA) : The MIT Press. Reproduit in P. Thagard (Ed.), *Mind Readings. Introductory Selections on Cognitive Science* (pp.207-238). Cambridge (MA) : The MIT Press, 1998.

RUMELHART, D.E. (1995). From Searching to Seeing. In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.189-201). Princeton (NJ) : Princeton University Press.

RUMELHART, D.E. & MCCLELLAND, J.L. (1986). PDP Models and General Issues in Cognitive Science. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (1986, pp.110-146).

RUMELHART, D.E., HINTON, G.E. & MCCLELLAND, J.L. (1986). A General Framework for Parallel Distributed Processing. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (1986, pp.45-76).

RUMELHART, D.E., MCCLELLAND, J.L. & THE PDP RESEARCH GROUP (1986). *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, vol.1. Foundations*. Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

SADOCK, J.M. (1979). Figurative speech and linguistics. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.42-57). Cambridge (MA) : Cambridge University Press, 1993.

SAINSBURY, R.M. (1990). Concepts Without Boundaries. Conférence inaugurale au King's College London, 6 novembre. Publiée par le Département de Philosophie du King's College London, 1991.

SANDER, E. (1997). *Analogie et catégorisation*. Thèse de doctorat effectuée sous la direction de J.-F. Richard, Université de Paris VIII.

SANDER, E. & RICHARD, J.-F. (1998). Analogy Making as a Categorization and an Abstraction Process. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.381-389).

SAVELLI, J. (1993). *Facettes statique et dynamique de la notion d'analogie : relation d'analogie et processus analogiques*. Thèse de doctorat effectuée sous la direction de L. Bourrelly, Université de Provence.

SCHANK, R.C. (1982). *Dynamic Memory*. Cambridge : Cambridge University Press.

SCHLANGER, J. (1988). La pensée inventive. In I. Stengers & J. Schlanger, *Les concepts scientifiques. Invention et pouvoir* (pp.67-100). Gallimard, 1991.

SECRETAN, P. (1984). *L'analogie*. «Que sais-je ?» n°2165. Paris : Presses Universitaires de France.

SEIFERT, C.M. (1994). The Role of Goals in Retrieving Analogical Cases. In J.A. Barnden & K.J. Holyoak (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.3. Analogy, Metaphor, and Reminding* (pp.95-125). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

SEIGNOLLE, C. (1964). *Les Evangiles du Diable*. Paris : Maisonneuve et Larose.

SENOS, J. & ALMEIDA ROCHA, T. (1998). Counterfactual reasoning and context: the affective function of downward counterfactuals. In A.C. Quelhas & F. Pereira (Eds.), *Cognition and Context* (pp.235-250). N° spécial *Análise Psicológica*.

SCHAEKEN, W., JOHNSON-LAIRD, P.N. & D'YDEWALLE, G. (1996). Mental models and temporal reasoning. *Cognition, 60*, 205-234.

SHALOM, A. (1959). Qu'est-ce qu'un Concept ? *Revue Internationale de Philosophie, 50*, 445-459.

SHANNON, C.E. (1938). A symbolic analysis of relay and switching circuits. *Trans. Amer. Inst. Electrical Engineers, 57*, 713-723.

SHEPARD, R.N. (1990). *Mind Sights*.New York : W.H. Freeman and Company. Tr. fr. de J. Henry, *L'œil qui pense. Visions, illusions, perceptions*. Paris : Seuil, 1992.

DA SILVA NEVES, R.M. (1994). Théories de la psychologie de l'induction. In J.-P. Caverni, C. Georges & G. Politzer (Eds.), *Raisonnements : conjoncture et prospectives*. N° spécial *Psychologie Française, 39 (2)*, 123-140.

SIMON, H.A. (1981). Studying Human Intelligence by Creating Artificial Intelligence. *American Scientist, 69 (3)*, 300-309.

SIMON, H.A. (1984). Quelques remarques historiques sur la science de la cognition. In A. Demailly & J.-L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.26-36). Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 1986.

SIMON, H.A. (1984b). Commentaires. In A. Demailly & J.-L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.577-612). Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 1986.

SIMON, H.A. (1984). "Un entretien avec H.A. Simon", par G. Pessis-Pasternak (L'ordinateur libéré de ses maîtres, Le Monde, 1-2 avril 1984). In A. Demailly & J.L. Le Moigne (Eds.), *Sciences de l'Intelligence, Sciences de l'Artificiel* (pp.625-631). Lyon : Presses Universitaires de Lyon, 1986.

SIMON, H.A. (1988). Creativity and motivation: A response to Csikszentmihalyi. *New Ideas in Psychology, 6 (2)*, 177-181.

SIMON, H.A. (1995). Technology Is Not the Problem. In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.231-248). Princeton (NJ) : Princeton University Press.

SIMON, H.A. (1999). Coping with Complexity. In GRASCE (Ed.), *Entre systémique et complexité, chemin faisant... Mélanges en l'honneur du professeur Jean-Louis Le Moigne* (pp.233-240). Paris : Presses Universitaires de France.

SKARDA, C.A. & FREEMAN, W.J. (1990). Chaos and the New Science of the Brain. *Concepts in Neuroscience, 1 (2)*, 275-285.

SMITH, E.E. (1989). Concepts and Induction. In M.I. Posner (Ed.), *Foundations of Cognitive Science* (pp.501-526). Cambridge (MA) : The MIT Press/A Bradford Book.

SMITH, E.E., PATALANO, A.L. & JONIDES, J. (1998). Alternative strategies of categorization. In S. Sloman & L. Rips (Eds.), *Rules and similarity in human thinking*. N° spécial *Cognition, 65*, 167-196.

SMITH, L.B. (1989). From global similarities to kinds of similarities: the construction of dimensions in development. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogicalreasoning* (pp.146-178). Cambridge : Cambridge University Press.

SMITH, L.B. & JONES, S.S. (1993). Cognition Without Concepts. *Cognitive Development, 8*, 181-188.

SMITH, L.B., JONES, S.S. & LANDAU, B. (1996). Naming in young children: a dumb attentional mechanism? *Cognition, 60*, 143-171.

SMITH, S.M., T.B. WARD & SCHUMACHER, J.S. (1993). Constraining effects of examples in a creative generation task. *Memory & Cognition, 21 (6)*, 837-845.

SMOLENSKY, P. (1986). Information Processing in Dynamical Systems: Foundations of Harmony Theory. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (1986, pp.194-281).

SMOLENSKY, P. (1988). On the proper treatment of connectionism (with Open Peer Commentary). *Behavioral and Brain Sciences, 11*, 1-74.

SMOLENSKY, P. (1992). IA connexionniste, IA symbolique et cerveau. In D. Andler (Ed.), *Introduction aux sciences cognitives* (pp.77-106). Gallimard.

SMOLIN, L. (1998). Une construction darwinienne de l'Univers. In *Naissance et histoire du Cosmos. La Recherche, HS 1*, 109-113.

SOLÉ, J. (1991). *Animaleries et compagnie*. Rennes : Vents d'Ouest.

SOURIAU, J.-M. (1993). Science et imagination. Conférence-débat dans le cadre de *La science en fête*. Marseille, 3 juin.

SOURIAU, J.-M. (1999). Science et science-fiction. Conférence au *Séminaire du Club d'Epistémologie*. Aix-en-Provence, 17 mai.

SPELLMAN, B.A. & HOLYOAK, K.J. (1996). Pragmatics in Analogical Mapping. *Cognitive Psychology, 31*, 307-346.

SPERBER, D. (1996). *La contagion des idées. Théorie naturaliste de la culture*. Paris : Odile Jacob.

SPERBER, D. (1997). La théorie de la pertinence et ses implications pour la psychologie du raisonnement. Conférence au *Séminaire de Psychologie Cognitive et Expérimentale du CREPCO*. Aix-en-Provence, 23 mai.

SPERBER, D., CARA, F. & GIROTTO, V. (1995). Relevance theory explains the selection task. *Cognition, 57*, 31-95.

STEELS, L. (1995). The Artificial Life Roots of Artificial Intelligence. In C.G. Langton (Ed.), *Artificial Life: An Overview* (pp.75-110). Cambridge (MA) : The MIT Press.

STENNING, K. & OBERLANDER, J. (1994). Spatial Inclusion and Set Membership: A Case Study of Analogy at Work. In K.J. Holyoak & J.A. Barnden (Eds.), *Advances in Connectionist and Neural Computation Theory, vol.2. Analogical Connections* (pp.446-486). Norwood (NJ) : Ablex Publishing Corporation.

STICHT, T.G. (1993). Educational uses of metaphor. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought, Second Edition* (pp.621-632). Cambridge (MA) : Cambridge University Press, 1993.

SWETS, J.A. (1986a). Indices of Discrimination or Diagnostic Accuracy: Their ROCs and Implied Models. *Psychological Bulletin, 99 (1)*, 100-117.

SWETS, J.A. (1986b). Form of Empirical ROCs in Discrimination and Diagnostic Tasks: Implications for Theory and Measurement of Performance. *Psychological Bulletin, 99 (2)*, 181-198.

SWETS, J.A., TANNER, W.P. & BIRDSALL, T.G. (1961). Decision processes in perception. *Psychological Review, 68 (5)*, 301-340.

TANAKA, J.W. & SIMON, V.B. (1996). Caricature Recognition in a Neural Network. *Visual Cognition, 3 (4)*, 305-324.

TENENBAUM, J.B. (1997). Making Sense of Typicality: What Makes a Good Example? In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.1069). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

TÊTE, A. (1989). Introduction. Questions vives ou comment le sont-elles devenues ? In J.-P. Codol & A. Tête (Eds.), *Psychologie cognitive : questions vives*. N° spécial *Bulletin de Psychologie, 390*, 443-448.

TÊTE, A. (1994a). Le Mind-Body Problem. Petite chronique d'une incarnation. In B. Feltz & D. Lambert (Eds.), *Entre le corps et l'esprit* (pp.219-245). Liège : Pierre Mardaga.

TÊTE, A. (1994b). Entre neurosciences & psychologie cognitive : une frontière en question. *Revue de synthèse, IVe S., 3-4*, 485-502.

TÊTE, A. (1995). Ouverture de la journée. Conférence à la *1ère Journée d'Etude en Sciences Cognitives de l'Association Cognito Ergo Sum*. Aix-en-Provence, 8 décembre.

THAGARD, P. (1997). Medical Analogies: Why and How. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.739-744). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

THAGARD, P., HOLYOAK, K.J., NELSON, G. & GOCHFELD, D. (1990). Analog Retrieval by Constraint Satisfaction. *Artificial Intelligence, 46*, 259-310.

THERAULAZ, G. (1994). Du super-organisme à l'intelligence en essaim : modèles et représentations du fonctionnement des sociétés d'insectes. In E. Bonabeau & G. Theraulaz (Eds.), *Intelligence collective* (pp.29-109). Paris : Hermès.

THOM, R. (1973). La science malgré tout... In *Encyclopædia Universalis* (pp.5-10). Paris : Encyclopædia Universalis France.

THOMAS, M.S.C. & MARESCHAL, D. (1997). Connectionism and Psychological Notions of Similarity. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.757-762). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

THOMASSON, N., PEZARD, L. & RENAULT, B. (1999). Rémission d'épisodes dépressifs & bifurcations au sein de la dynamique cérébrale. In B. Vivicorsi, M. Polge, S. Cayrou, F. de Gaulejac, G. Chicoisne, V. Cotten, M. Le Calvez & E. Perrone (Eds.) (1999). *Interdisciplinarité et cognition. Les multiples approches, du traitement de l'information aux systèmes dynamiques et à l'énaction. Actes du IIIe Colloque Jeunes Chercheurs en Sciences* Cognitives (pp.231-237). Soulac, 26-28 avril 1999.

TIBERGHIEN, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction, 4*, 71-87.

TIBERGHIEN, G. (1984). La psychophysique perceptive. In *Initiation à la psychophysique* (pp.104-122). Paris : Presses Universitaires de France.

TIBERGHIEN, G. (1986). Intelligence, mémoire et artifice. In C. Bonnet, J.M. Hoc & G. Tiberghien (Eds.), *Psychologie, intelligence artificielle et automatique* (pp.109-126). Bruxelles : Pierre Mardaga.

TIJUS, C.A. (1985). Une réponse à Karl Popper : est-il possible d'analyser les processus de la création artistique ? *Bulletin de Psychologie, 372*, 831-839.

TIJUS, C.A. (1999). Construction des représentations à partir des propriétés des objets. Conférence au *Séminaire de Psychologie Cognitive et Expérimentale du CREPCO*. Aix-en-Provence, 22 janvier.

TIJUS, C.A. & MOULIN, F. (1997). L'assignation de signification étudiée à partir de textes d'histoires drôles. *L'Année Psychologique*, *97*, 33-75.

TIJUS, C.A., RICHARD, J.-F. & LEPROUX, C. (1996). Une méthode de pronostic des erreurs et des incidents pour la conception de dispositifs. *Le Travail humain*, *59 (4)*, 355-376.

TOLKIEN, J.R.R. (1966). *The Lord of The Rings*. George Allen & Unwin Ltd. Tr. fr. de F. Ledoux, *Le Seigneur des Anneaux*. Paris : Bourgois, 1992.

TORRE, C.A. (1995). Chaos, Creativity, and Innovation: Toward a Dynamical Model of Problem Solving. In R. Robertson & A. Combs (Eds.), *Chaos Theory in Psychology and the Life Sciences* (pp.179-198). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

TRICOT, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de Psychologie de l'Education*, *3*, 37-64.

TRICOT, A. & CHANQUOY, L. (1996). La charge mentale, «vertu dormitive» ou concept opérationnel ? In A. Tricot & L. Chanquoy (Eds.), *La charge mentale*. N° spécial *Psychologie Française*, *41 (4)*, 313-318.

TURING, A.M. (1936). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, *42*, 230-265.

TURING, A.M. (1950). Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, *LIX*, *236*. Tr. fr. d'A. Pélissier, «Machines à calculer et intelligence». In A. Pélissier & A. Tête (Eds.) (1995, pp.255-285).

TURNER, M. (1997). A Lectures Series in Cognitive Science "Metaphor & Analogy". IRST, Povo, Trento, Italie, 18-21 juin.

TVERSKY, A. (1977). Features of Similarity. *Psychological Review*, *84 (4)*, 327-352.

TVERSKY, A. & KAHNEMAN, D. (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases. *Science*, *185*, 1124-1131.

TWENEY, R.D. & CHITWOOD, S.T. (1995). Scientific Reasoning. In S.E. Newstead & J. St.B. T. Evans (Eds.), *Perspectives ON Thinking and Reasoning* (pp.241-260). Hove : Lawrence Erlbaum Associates.

UEDA, K. (1997). Actual use of analogies in remarkable scientific discoveries. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.763-768). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

VALOT, C. & AMALBERTI, R. (1989). Les redondances dans le traitement des données. *Le Travail Humain*, *52 (2)*, 155-174.

VANDERVERT, L.R. (1992). The Emergence of Brain and Mind amid Chaos through Maximum-Power Evolution. *World Futures: The Journal of General Evolution*, *33 (4)*, 253-273.

VANDERVERT, L.R. (1995). Chaos Theory and the Evolution of Consciousness and Mind: A Thermodynamic-Holographic Resolution to the Mind-Body Problem. *New Ideas in Psychology*, *13 (2)*, 107-127.

VARELA, F.J. (1988). *Cognitive Science. A Cartography of Current Ideas*. Tr. fr. de P. Lavoie, *Connaître les sciences cognitives. Tendances et perspectives*. Paris : Seuil, 1989.

VARELA, F.J. (1991). Brain Time, Cognitive Time. In J. Montangero & A. Tryphon (Eds.), *Psychologie Génétique et Sciences Cognitives* (pp.195-207). Genève : Fondation Archives Jean Piaget.

VIGNAUX, G. (1991). Catégorisation et schématisation: des arguments au discours. In D. Dubois (Ed.) (1991a, pp.295-318).

VISETTI, J.-M. (1995). Fonctionnalismes 1996. In E. Pacherie (Ed.), *Fonctionnalismes*. N° spécial *Intellectica*, *21*, 282-311.

VIVICORSI, B. (1994). *Etre fodorien entre 1981 et 1988*. Mémoire de maîtrise effectué sous la direction d'A. Tête, Université de Provence.

VIVICORSI, B. (1996a). Les glissements conceptuels, ou l'"architecture-fourmilière" comme architecture cognitive. In F. Anceaux & J.-M. Coquery (Eds.), *Actes du 6ème Colloque de l'Association pour la Recherche Cognitive, «Sciences Cognitives, Individus et Sociétés»* (pp.291-295). Villeneuve d'Ascq, 10-12 décembre.
VIVICORSI, B. (1996b). *Analogies créatives et architecture cognitive : approche expérimentale du modèle Copycat.* Mémoire de DEA effectué sous la direction de C. Bastien, Université de Provence.
VIVICORSI, B. (1997). "Dog" is not a concept. Communication orale au *Fifth European Congress of Psychology.* Dublin, Irlande, 6-11 juillet.
VIVICORSI, B. (1998a). L'Analogie comme source de la Créativité. Conférence à la *6ème Journée d'Etude en Sciences de la Cognition de l'Association* ACCION, *«Créativité et cognition».* Aix-en-Provence, 28 mai.
VIVICORSI, B. (1998b). The Copsycat Project: Towards a Conceptual Fluidity Theory. In K. Holyoak, D. Gentner & B. Kokinov (Eds.) (1998, pp.245-252).
VIVICORSI, B. (1999). Analogy Perception and Creativity Mechanisms. In V. Cantoni, A. Setti, V. Di Gesù & D. Tegolo (Eds.), *Human and Machine Perception 2: Emergence, Attention, and Creativity* (pp.151-168). New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers.
VIVICORSI, B. (à paraître). De Fodor à Hofstadter, ou d'un mystère à la nécessité de son dévoilement. In *Fodor et Pylyshyn.* N° spécial *Bulletin de Psychologie, 53 (2), 446.*
VIVICORSI, B. & CLIGNET, R. (à paraître). Connexionnisme et architecture cognitive : analyse critique. Traduction française de : Fodor, J.A. & Pylyshyn, Z.W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition, 28,* 3-71. In *Fodor et Pylyshyn.* N° spécial *Bulletin de Psychologie, 53 (2), 446.*
VIVICORSI, B., POLGE, M. & DE VIVIÉS, X. (en préparation). Un cadre d'interprétation unifié des résultats sur le raisonnement et l'expertise (titre provisoire).
DE VIVIÉS, X. (1999a). *Le rôle des connaissances dans le contrôle de l'activité cognitive.* Thèse de doctorat effectuée sous la direction de C. Bastien, Université de Provence.
DE VIVIÉS, X. (1999b). Point de vue et type de représentation des règles. Deux niveaux de difficulté pour la résolution de problèmes. *L'Année Psychologique, 99,* 271-293.
VOSNIADOU, S. (1989). Analogical reasoning as a mechanism in knowledge acquisition: a developmental perspective. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogicalreasoning* (pp.413-437). Cambridge : Cambridge University Press.
VOSNIADOU, S. & ORTONY, A. (1989). Similarity and analogical reasoning: a synthesis. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp.1-17). Cambridge : Cambridge University Press.

WARD, S.L. & OVERTON, W.F. (1990). Semantic familiarity, relevance, and the development of deductive reasoning. *Developmental Psychology, 26,* 488-493.
WARD, T.B. (1994). Structured Imagination: The Role of Category Structure in Exemplar Generation. *Cognitive Psychology, 27,* 1-40.
WARD, T.B. & SIFONIS, C.M. (1997). Task Demands and Generative Thinking: What Changes and What Remains the Same? *The Journal of Creative Behavior, 31 (4),* 245-259.
WARD, T.B., SMITH, S.M. & VAID, J. (Eds.) (1997). *Creative Thought. An Investigation of Conceptual Structures and Processes.* Washington : American Psychological Association.
WASHBURN, D.K. (1998). Patterns at the Edge: Strategies of Looking at Nonrepresentational Art. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.1119-1123). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.
WASON, P.C. (1960). On the failure to eliminate hypotheses in a conceptual task. *The Quaterly Journal of Experimental Psychology, 12,* 129-140.
WASON, P.C. (1966). Reasoning. In B. Foss (Ed.), *New Horizons in Psychology.* Harmonsworth : Penguin.

WASON, P.C. (1971). Problem Solving and Reasoning. In A. Summerfield (Ed.), *Cognitive Psychology*. N° spécial *British Medical Bulletin*, *27 (3)*, 206-210.

WASON, P. (1995). Creativity in Research. In S.E. Newstead & J. St.B. T. Evans (Eds.), *Perspectives ON Thinking and Reasoning* (pp.287-301). Hove : Lawrence Erlbaum Associates.

WEIZENBAUM, J. (1966). ELIZA: A Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine. *Communication of the ACM*, *1*, 36-45.

WEIZENBAUM, J. (1995). The Myth of the Last Metaphor. In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.249-264). Princeton (NJ) : Princeton University Press.

WERTHEIMER, M. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegungen. *Zeitschrift für Psychologie*, *61*, 161-265.

WEST, D.M. & TRAVIS, L.E. (1991). From Society to Landscape: Alternative Metaphors for Artificial Intelligence. *AI Magazine*, *summer 1991*, 69-83.

WHARTON, C.M., HOLYOAK, K.J. & LANGE, T.E. (1996). Remote analogical reminding. *Memory & Cognition*, *24 (5)*, 629-643.

WIENER, N. (1948). Introduction. In N. Wiener, *Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge : The MIT Press. Tr. fr. d'A. Pélissier, «La cybernétique ou le contrôle et la communication chez l'animal et la machine. Introduction». In A. Pélissier & A. Tête (Eds.) (1995, pp.5-35).

WILEY, J. (1997). Negative Effects of Domain Knowledge on Creative Problem Solving. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.820-825). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

WILEY, J. (1998). Expertise as mental set: The effects of domain knowledge in creative problem solving. *Memory & Cognition*, *26 (4)*, 716-730.

WINOGRAD, S. & COWAN, J. (1963). *Reliable Computation in the Presence of Noise*. Cambridge (MA) : The MIT Press.

WINOGRAD, T. (1982). Des machines savantes (interview de T. Winograd par F. Harrois-Monin). In *La science des robots*. *Science & Vie*, *HS 138*, 76-83.

WITTGENSTEIN, L. (1953). Philosophical Investigations, Sections 65-78. In E. Margolis & S. Laurence (Eds.), *Concepts: Core Readings* (pp.171-174). Cambridge (MA) : A Bradford Book/The MIT Press, 1999.

WOOLDRIDGE, D. (1968). *Mechanical Man — The Physical Basis of Intelligent Life*. New York : McGraw Hill.

YACHANIN, S.A. (1986). Facilitation in Wason's selection task: Content and instructions. *Current Psychological Research and Reviews*, *5*, 20-29.

YAMAUCHI, T. & MARKMAN, A.B. (1997). The Effect of Category Labels on Inference and Classification. In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p.1094). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

YULE, P. (1997). Deductive Reasoning Competence: Are Rule-Based and Model-Based Methods Distinguishable in Principle? In M.G. Shafto & P. Langley (Eds.), *Proceedings of the Nineteenth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.826-831). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

ZADEH, L.A. (1995). The Albatross of Classical Logic. In P. Baumgartner & S. Payr (Eds.), *Speaking Minds. Interviews with Twenty Eminent Cognitive Scientists* (pp.300-311). Princeton (NJ) : Princeton University Press.

ZHANG, J., JOHNSON, T.R. & WANG, H. (1998). Isomorphic Representations Lead to the Discovery of Different Forms of a Common Strategy with Different Degrees of Generality. In M.A. Gernsbacher & S.J. Derry (Eds.), *Proceedings of the Twentieth Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp.1188-1193). Mahwah (NJ) : Lawrence Erlbaum Associates.

ANNEXE 1

L'acceptabilité de toutes les propositions

Toutes les propositions sont acceptables. Voici des exemples de règles pouvant être appliquées à la fois au premier terme et au troisième terme de l'énoncé pour obtenir respectivement le second et le quatrième termes :

Exemple 1
abc >> abd, ijk >> ?

abd : toute chaîne devient abd
ijk : la lettre c devient la lettre d
ijd : la dernière lettre devient la lettre d
ijl : la dernière lettre devient son successeur
djk : une lettre devient la lettre d
jjj : toute chaîne devient une chaîne différente d'au moins une lettre
abc : toute chaîne donne abc sauf la chaîne abc
abl : toute chaîne devient ab-successeur de la dernière lettre
lmn : le dernier groupe devient son successeur
dba : toute chaîne devient une chaîne formée par les lettres a, b, d
mro : toute chaîne devient une chaîne de même taille et de lettres différentes
jok : toute chaîne devient une chaîne de même taille

Exemple 2
abc >> abd, aa >> ?

abd : tout chaîne devient abd
aa : la lettre c devient la lettre d
ad : la dernière lettre devient la lettre d
ab : la dernière lettre devient son successeur
bb : chaque lettre du groupe devient son successeur
aaa : le nombre de lettres devient son successeur
aabbdd : toute chaîne devient (n)a(n)b(n)d, $n \geq 1$
dd : la catégorie de la dernière lettre devient la lettre d
cd : toute chaîne devient un groupe de même longueur, finissant par la lettre d et alphabétiquement construite
aadd : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est la lettre d
rbz : toute chaîne devient une chaîne de trois lettres
skc: toute chaîne (non) ordonnée alphabétiquement devient une chaîne de trois lettres (non) ordonnée alphabétiquement

Exemple 3
abc >> abd, ace >> ?

abd : toute chaîne devient abd
ade : la lettre c devient la lettre d
acd : la dernière lettre devient la lettre d
acf : la dernière lettre devient son successeur
acg : la dernière lettre devient son successeur en respectant le saut alphabétique
bdf : la dernière lettre de chaque groupe successif alphabétiquement respecté devient son successeur
abc : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a
abf : toute chaîne devient ab-successeur de la dernière lettre
abg : toute chaîne devient ab-successeur de la dernière lettre en respectant le saut alphabétique
ihg : toute chaîne devient une chaîne de même taille
gii : toute chaîne devient une chaîne de même taille
aee : la lettre c devient son successeur en respectant le saut alphabétique

Problème 1
lmn >> lmo, kji >> ?

kji : la lettre n devient la lettre o
kjo : la dernière lettre devient la lettre o
kjj : la dernière lettre devient son successeur
kjh : la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédécesseur si ce n'est pas le cas
lji: la dernière lettre dans le sens de l'alphabet devient son successeur
ijk : toute chaîne devient une chaîne alphabétiquement respectée
kij : toute chaîne devient une chaîne de même taille
lkj : la dernière lettre de l'alphabet et suivantes deviennent leurs successeurs
jkl : la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, chaque lettre devient son successeur si ce n'est pas le cas
blo : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est la lettre o
xwf : toute chaîne devient une chaîne de même taille
kjk : la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son double successeur si ce n'est pas le cas

Problème 2
ijk >> ijl, lmfgop >> ?

lmfgop : la lettre k devient la lettre l
lmfgol : la dernière lettre devient la lettre l
lmfgoq: la dernière lettre devient son successeur
lmfgpq : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
lmfgqr : le dernier groupe devient son successeur
lnfhoq : chaque dernière lettre de chaque groupe devient son successeur
lmfgqq : chaque lettre du dernier groupe devient le successeur de la dernière lettre
ijlgoq : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est le successeur de la dernière lettre
nohiqr : chaque groupe devient son successeur
kmfgop: la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, la première lettre devient son prédécesseur si ce n'est pas le cas
lmefop : chaque lettre du groupe contenant la troisième lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, sinon chaque lettre de ce groupe devient son prédécesseur
lmfgoz: la dernière lettre devient un de ses successeurs

Problème 3
abc >> abd, abbccd >> ?

abbddd : la lettre c devient la lettre d
abbcce : la dernière lettre devient son successeur
abbcde : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
abbcef: le dernier groupe devient son successeur
aababe : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a
aaaaad : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a et la dernière lettre la lettre d
aababx : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a
uububc : toute chaîne devient une chaîne qui contient le même nombre de lettre b
aahahc : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a
abbccd : la dernière lettre devient la lettre d
babcbd : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est la lettre d
aacacd : toute chaîne devient une chaîne dont la première lettre est la lettre a et la dernière lettre la lettre d

Problème 4

aabc >> aabd, ijkk >> ?

djkk : la lettre non doublée à une extrêmité devient la lettre d
jjkk : la lettre non doublée à une extrêmité devient son successeur
hjkk : la lettre non doublée à une extrêmité devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédecesseur si ce n'est pas le cas
ikkk : la dernière lettre non doublée devient son successeur
ijkd : la dernière lettre devient la lettre d
ijkl : la dernière lettre devient son successeur
ijdd : chaque lettre du dernier groupe devient la lettre d
ijll : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
iijl : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est le successeur de la dernière lettre
iijd : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre est la lettre d
jkkk : si les lettres doublées précèdent les lettres non doublées, la dernière lettre devient son successeur, chaque lettre non doublée devient son successeur si ce n'est pas le cas
ijlk : la première lettre de la troisième catégorie de lettre devient son successeur

Problème 5

abcd >> abcde, mlkji >> ?

mlkjie : toute chaîne devient la même chaîne suivie de la lettre e
mlkjij : toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre
mlkji : toute chaîne devient la même chaîne suivie de la lettre alphabétique successive si le sens de l'alphabet est respecté
mlkjih: toute chaîne devient la même chaîne suivie de la lettre alphabétique successive si le sens de l'alphabet est respecté, par la lettre alphabétique qui précède si ce n'est pas le cas
nmlkji : toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre alphabétique à la suite de cette dernière lettre alphabétique
mlkj : toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre si le sens de l'alphabet est respecté, amputée de la première lettre alphabétique si ce n'est pas le cas
lkji : toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre si le sens de l'alphabet est respecté, amputée de la dernière lettre alphabétique si ce n'est pas le cas
abcdi : toute chaîne devient une chaîne qui conserve la première lettre alphabétique
mlkjii : toute chaîne devient la même chaîne suivie du successeur de la dernière lettre si le sens de l'alphabet est respecté, de la dernière lettre si ce n'est pas le cas
fghij : toute chaîne devient une chaîne alphabétique successive
mljjk : toute chaîne devient une chaîne de taille au moins équivalente
abcd : toute chaîne devient une chaîne alphabétique successive

Problème 6

abcm >> abcn, rijk >> ?

mnn : chaque lettre du dernier groupe devient la lettre n
rijn : la dernière lettre devient la lettre n
rijl : la dernière lettre devient son successeur
rjkl : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
nijk : la lettre n'appartenant pas à un groupe successif devient la lettre n
sijk : la lettre n'appartenant pas à un groupe successif devient son successeur
rikl : toute chaîne devient une chaîne dont la dernière lettre devient son successeur
rhij : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, son prédécesseur dans le cas contraire
rijh : la dernière lettre devient une autre lettre
mijk : la lettre n'appartenant pas à un groupe successif devient une autre lettre
stuv : la lettre n'appartenant pas à un groupe successif et suivantes deviennent les successeurs successifs de cette lettre
abcs : toute chaîne devient abc-successeur de la dernière lettre dans l'alphabet

Problème 7

rst >> rsu, mrrjjj >> ?

mrrjjj : la lettre t devient la lettre u
mrsjjj : la troisième lettre devient son successeur
mrrjju : la dernière lettre devient la lettre u
mrrjjk: la dernière lettre devient son successeur
mrruuu : chaque lettre du dernier groupe devient la lettre u
mrrkkk : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
nrsjjk : chaque dernière lettre de chaque groupe devient son successeur
mrrjjjj : le nombre de lettres du dernier groupe, si supérieur à 1, devient son successeur, la dernière lettre devient son successeur si ce n'est pas le cas
mrrklm : le dernier groupe devient un groupe de successeurs successifs
mrrppp : chaque lettre du dernier groupe devient un successeur
mrrjjf : la dernière lettre devient une autre lettre
orrjjj : une lettre n'apparaissant qu'une seule fois devient une autre lettre

Problème 8

mrs >> mrt, iiii >> ?

mrt : toute chaîne devient mrt
iiit : la dernière lettre devient la lettre t
iiij : la dernière lettre devient son successeur
iitt: chaque lettre du dernier groupe devient la lettre t
iijj : chaque lettre du dernier groupe devient son successeur
jjjj : chaque lettre de la dernière catégorie de lettre devient son successeur
iiiii: la dernière lettre devient son successeur si le sens de l'alphabet est respecté, le nombre de lettres devient son successeur si ce n'est pas le cas
ijkl : toute chaîne devient une chaîne de taille équivalente et orientée alphabétiquement
mrss : donner une chaîne de taille équivalente
tttt : chaque lettre de la dernière catégorie de lettre devient un successeur
iiim : la dernière lettre devient un de ses successeurs
mri : toute chaîne devient une chaîne qui conserve une des lettres

Problème 9

ooe >> o, riippp >> ?

r : la première lettre est conservée
i : la lettre doublée est conservée
p : la lettre qui apparait le plus est conservée
ip : les catégories des lettres doublées sont conservées
ipp : une lettre par groupe est supprimée
rip : conserver la première lettre plus toutes les lettres au moins doublées
rr : conserver au moins une fois la première lettre
pp : conserver au moins une fois la lettre apparaissant le plus
iippp : ne pas conserver la première lettre
ppp : conserver au moins une fois la lettre apparaissant le plus
ii : conserver au moins une fois la lettre doublée
rrip : toute chaîne devient une autre chaîne construite avec les mêmes lettres

Problème 10

eqe >> qeq, aaabccc >> ?

qeq : tout l'énoncé devient qeq
bbbacbbb : la lettre est triplée et inversée, les lettres triplées sont réduites et inversées
baaacccb : la lettre centrale est doublée et déplacée aux extrêmes
abbbc : le nombre et la position des lettres sont intervertis si la chaîne est symétrique, le nombre des lettres est interverti si ce n'est pas le cas
cccbaaa : toute chaîne devient une chaîne de même taille et de mêmes lettres
cacbcac : toute chaîne devient une chaîne de même taille et de mêmes lettres
abc : toute chaîne devient une chaîne de trois lettres avec les mêmes lettres
bbbabbb : le nombre et la position des lettres des deux premières catégories de lettre sont intervertis
qqqeppp : toute chaîne devient une chaîne symétrique en nombre de lettre centrale e
abcba : toute chaîne devient une chaîne symétrique avec les mêmes lettres
qaaaecccq : toute chaîne devient une chaîne symétrique en nombre de lettre centrale e
bacb : la lettre centrale est doublée et déplacée aux extrêmes

ANNEXE 2

Nombre de propositions évaluées "vrai" pour chaque sujet

Nombre total (n_{pt}) de propositions évaluées "vrai" par sujet, détaillé par problème :

Sujet	n_{pt}	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	Pb8	Pb9	Pb10
1	9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
2	55	7	5	6	7	9	2	5	5	7	2
3	6	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
4	36	1	4	2	2	4	3	6	7	3	4
5	72	3	7	9	9	8	5	7	9	11	4
6	52	5	5	5	8	4	5	7	2	3	8
7	10	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0
8	12	1	1	3	1	2	1	1	1	1	0
9	42	3	4	3	5	5	5	4	5	3	5
10	24	1	1	2	2	3	4	1	4	3	3
11	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	38	6	5	2	3	3	3	2	5	3	6
13	17	2	3	1	1	1	1	3	1	3	1
14	17	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1
15	35	3	5	4	4	4	4	3	1	4	3
16	64	8	9	4	3	6	6	9	6	6	7
17	43	3	3	2	3	5	4	5	5	6	7
18	15	1	1	1	1	2	1	1	2	2	3
19	14	1	1	2	2	1	2	2	2	0	1
20	13	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1
21	44	4	4	2	5	5	5	5	6	5	3
22	12	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1
23	65	9	6	5	7	7	4	5	8	12	2
24	35	0	5	2	5	7	3	4	3	2	4
25	29	1	5	2	2	1	2	5	5	1	5
26	55	8	8	5	5	7	4	2	5	5	6
27	28	2	5	1	3	4	2	4	1	4	2
28	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
29	11	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
30	66	5	8	6	6	6	8	10	6	5	6
31	15	1	1	2	1	2	1	1	1	3	2
32	14	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1
33	39	4	2	3	4	4	2	6	6	5	3
34	20	2	1	5	2	2	4	1	1	1	1
35	24	2	1	2	1	3	3	3	2	4	3
36	10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
37	52	5	3	5	7	5	5	5	3	7	7
38	19	2	1	1	3	1	1	4	1	2	3
39	73	4	6	8	9	8	7	9	9	5	8
40	17	1	0	1	3	1	1	2	2	1	5

Sujet	n_{pt}	Pb1	Pb2	Pb3	Pb4	Pb5	Pb6	Pb7	Pb8	Pb9	Pb10
41	11	1	1	2	1	1	1	1	1	2	0
42	40	6	4	3	5	0	4	5	6	3	4
43	47	7	7	3	1	2	3	5	7	7	5
44	57	6	11	4	7	5	2	3	11	3	5
45	9	1	1	0	0	2	1	0	1	2	1
46	12	1	1	1	1	2	0	1	1	3	1
47	38	4	1	4	1	7	12	0	2	2	5
48	39	4	0	3	5	5	2	7	11	1	1
49	66	6	4	6	5	7	9	7	8	6	8
50	18	2	1	2	2	2	1	1	1	3	3
51	7	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1
52	20	2	2	2	2	2	1	3	2	3	1
53	31	2	1	2	2	8	2	5	3	2	4
54	39	1	5	2	5	5	6	5	1	3	6
55	38	4	7	2	2	5	4	1	3	7	3
56	46	6	4	4	4	3	5	4	4	6	6
57	56	2	11	7	7	12	6	0	1	4	6
58	7	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0
59	9	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
60	22	1	1	2	1	3	3	1	1	6	3
61	20	1	3	1	2	2	2	2	2	2	3
62	29	9	6	3	2	4	0	2	2	1	0
63	19	1	3	2	2	2	2	2	2	1	2
64	45	4	6	5	1	7	7	3	2	3	7
65	43	5	4	3	2	8	9	3	1	4	4
66	14	2	0	1	1	1	0	2	0	3	4
67	7	0	2	0	1	1	1	0	1	1	0
68	23	0	1	1	4	1	3	6	1	5	1
69	28	1	3	4	4	2	1	3	2	3	5
70	28	8	5	1	2	0	1	4	2	2	3
71	40	4	5	3	3	4	3	3	5	7	3
72	13	1	2	2	0	2	1	1	1	3	0
73	51	2	5	5	9	6	5	6	5	4	4
74	22	1	6	1	0	0	2	4	3	2	3
75	25	5	0	2	1	0	0	4	5	2	6
76	43	4	6	3	8	4	2	5	2	4	5
77	23	1	9	1	1	1	0	4	2	3	1
78	11	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
79	24	3	3	3	1	4	1	0	2	3	4
80	12	0	1	1	1	2	1	1	2	2	1

ANNEXE 3

*Résultats dans le cadre de la TDS : indices **d'** et **β**, nombre de réponses VV, VF, FV et FF et proportions des réponses VV et VF*

Valeurs des indices **d '** et **β** par sujet, nombre par sujet de réponses VV (réponse “vrai” de la part du sujet sur une proposition codée V par l'expérimentateur), VF (réponse “vrai” de la part du sujet sur une proposition codée F par l'expérimentateur), FV (réponse “faux” de la part du sujet sur une proposition codée V par l'expérimentateur), FF (réponse “faux” de la part du sujet sur une proposition codée F par l'expérimentateur) et proportions par sujet de réponses p(VV) et p(VF) sur lesquelles reposent les calculs de **d '** et **β** :

Sujet	d '	β	VV	VF	FV	FF	p(VV)	p(VF)
1	5,037	0,004	9	0	51	60	0,15	0
2	0,561	0,937	34	21	26	39	0,57	0,35
3	3,731	0,181	5	1	55	59	0,08	0,02
4	1,130	0,644	26	10	34	50	0,43	0,17
5	0,518	1,115	41	31	19	29	0,68	0,52
6	0,981	0,835	37	15	23	45	0,62	0,25
7	3,915	0,258	9	1	51	59	0,15	0,02
8	4,842	0,004	12	0	48	60	0,20	0
9	1,535	0,456	36	6	24	54	0,60	0,10
10	1,739	0,640	16	8	44	52	0,27	0,13
11	3,091	0,210	9	1	51	59	0,15	0,02
12	0,981	0,835	23	15	37	45	0,38	0,25
13	2,667	0,148	16	1	44	59	0,27	0,02
14	2,384	0,339	14	3	46	57	0,23	0,05
15	1,124	0,822	21	14	39	46	0,35	0,23
16	0,432	1,039	37	27	23	33	0,62	0,45
17	0,739	0,836	27	16	33	44	0,45	0,27
18	3,418	0,054	12	3	48	57	0,20	0,05
19	3,650	0,020	13	1	47	59	0,22	0,02
20	3,720	0,021	12	1	48	59	0,20	0,02
21	1,130	0,644	34	10	26	50	0,57	0,17
22	2,969	0,187	11	1	49	59	0,18	0,02
23	0,303	1,034	36	29	24	31	0,60	0,48
24	1,168	0,679	24	11	36	49	0,40	0,18
25	1,588	0,462	23	6	37	54	0,38	0,10
26	0,381	0,957	32	23	28	37	0,53	0,38
27	1,505	0,651	19	9	41	51	0,32	0,15
28	4,954	0,004	10	0	50	60	0,17	0
29	3,832	0,024	10	1	50	59	0,17	0,02
30	1,179	1,191	46	20	14	40	0,77	0,33
31	4,675	0,003	15	0	45	60	0,25	0
32	2,723	0,243	12	2	48	58	0,20	0,03
33	0,968	0,707	27	12	33	48	0,45	0,20
34	2,080	0,469	15	5	45	55	0,25	0,08
35	2,213	0,180	22	2	38	58	0,37	0,03
36	4,954	0,004	10	0	50	60	0,17	0
37	0,515	0,910	32	20	28	40	0,53	0,33
38	2,054	0,595	13	6	47	54	0,22	0,10
39	0,575	1,147	42	31	18	29	0,70	0,52
40	2,247	0,532	12	5	48	55	0,20	0,08

Sujet	d'	β	VV	VF	FV	FF	p(VV)	p(VF)
41	3,008	0,194	10	1	50	59	0,17	0,02
42	0,915	0,774	26	14	34	46	0,43	0,23
43	0,575	0,872	29	18	31	42	0,48	0,30
44	0,277	0,982	32	25	28	35	0,53	0,42
45	3,180	0,231	8	1	52	59	0,13	0,02
46	4,842	0,004	12	0	48	60	0,20	0
47	0,981	0,835	23	15	37	45	0,38	0,25
48	0,948	0,753	26	13	34	47	0,43	0,22
49	0,781	1,070	39	27	21	33	0,65	0,45
50	2,320	0,324	15	3	45	57	0,25	0,05
51	5,175	0,005	7	0	53	60	0,12	0
52	2,228	0,306	17	3	43	57	0,28	0,05
53	1,369	0,669	22	9	38	51	0,37	0,15
54	0,928	0,824	24	15	36	45	0,40	0,25
55	0,974	0,757	25	13	35	47	0,42	0,22
56	0,616	0,921	26	20	34	40	0,43	0,33
57	0,252	0,980	31	25	29	35	0,52	0,42
58	5,175	0,005	7	0	53	60	0,12	0
59	5,037	0,004	9	0	51	60	0,15	0
60	2,113	0,288	19	3	41	57	0,32	0,05
61	2,406	0,195	18	2	42	58	0,30	0,03
62	1,440	0,753	18	11	42	49	0,30	0,18
63	2,464	0,202	17	2	43	58	0,28	0,03
64	0,638	0,992	23	22	37	38	0,38	0,37
65	0,721	0,927	24	19	36	41	0,40	0,32
66	2,408	0,830	8	6	52	54	0,13	0,10
67	5,175	0,005	7	0	53	60	0,12	0
68	1,788	0,604	16	7	44	53	0,27	0,12
69	1,614	0,466	22	6	38	54	0,37	0,10
70	1,498	0,777	17	11	43	49	0,28	0,18
71	0,877	0,813	25	15	35	45	0,42	0,25
72	4,772	0,003	13	0	47	60	0,22	0
73	0,815	0,847	35	16	25	44	0,58	0,27
74	1,895	0,532	16	6	44	54	0,27	0,10
75	1,654	0,862	14	11	46	49	0,23	0,18
76	0,892	0,702	31	12	29	48	0,52	0,20
77	1,801	0,666	15	8	45	52	0,25	0,13
78	3,832	0,024	10	1	50	59	0,17	0,02
79	1,712	0,733	15	9	45	51	0,25	0,15
80	4,842	0,004	12	0	48	60	0,20	0

ANNEXE 4

Propositions évaluées "vrai" en fonction des réponses des sujets

Propositions évaluées "vrai" par problème en fonction de la réponse du sujet (nous n'avons tenu compte que des réponses que nous avions prévues, *i.e.* les 12 propositions; le nombre de sujets pris alors en compte est indiqué pour chaque problème et décliné par réponse); les réponses présentées dans la première colonne correspondent donc respectivement aux propositions P1-P12 :

Problème **1** : **lmn** >> **lmo**, **kji** >> **?** (72 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
kji (1)					1			1				
kjo (1)			1	1								
kjj (40)	5	8	37	12	8	10	9	5	10	2	1	13
kjh (14)	3	2	4	12	3	1	1	2	1			2
lji (13)	1	1	1	3	10	3	1	3	2	1		1
ijk (1)					1	1		1	1		1	1
kij												
lkj (1)	1				1	1	1			1		1
jkl												
blo												
xwf												
kjk (1)	1						1					

Problème **2** : **ijk** >> **ijl**, **lmfgop** >> **?** (32 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
lmfgop												
lmfgol												
lmfgoq (26)	7	6	25	6	7	5	3	4	2	4	2	5
lmfgpq												
lmfgqr (2)	1		1	1	2	2			2		2	
lnfhoq (4)		1	3	2	2	4	1		1	1	1	1
lmfgqq												
ijlgoq												
nohiqr												
kmfgop												
lmefop												
lmfgoz												

Problème **3** : **abc** >> **abd**, **abbccd** >> **?** (52 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
abbddd (2)	2	2								2		
abbcce (48)	19	44	14	8	7	5	2	1	1	16	6	4
abbcde (2)		1	2	1	1	1	2	1				1
abbcef												
aababe												
aaaaad												
aababx												
uububc												
aahahc												
abbccd												
babcbd												
aacacd												

Problème **4** : **aabc** >> **aabd**, **ijkk** >> **?** (66 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
djkk												
jjkk (4)	2	4	3	1	2		2	3			1	2
hjkk (9)		2	9	1		4	1	1	1		1	2
ikkk (6)			3	6		1	1		2		1	
ijkd												
ijkl (44)	3	6	5	6	9	44	5	14	11	7	5	6
ijdd												
ijll (3)				1	2		1	3	1	1		1
iijl												
iijd												
jkkk												
ijlk												

Problème **5** : **abcd** >> **abcde**, **mlkji** >> **?** (55 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
mlkjie (1)	1											
mlkjij (17)	2	14	3	7	4	4	2		6	3	5	2
mlkji												
mlkjih (33)	5	4	9	32	23	12	9		5	8	1	6
nmlkji (13)		1	4	8	11	2	2		1	1		
mlkj												
lkji (1)	1	1		1	1	1	1					
abcdi												
mlkjii												
fghij												
mljjk												
abcd												

Problème **6** : **abcm** >> **abcn**, **rijk** >> **?** (69 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
rnnn												
rijn												
rijl (56)	3	17	47	14	9	12	12	9	12	7	6	5
rjkl												
nijk												
sijk (13)		2	4	4	7	11	1	4	1	4	4	3
rikl												
rhij												
rijh												
mijk												
stuv												
abcs												

Problème **7** : **rst** >> **rsu**, **mrrjjj** >> **?** (60 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
mrrjjj												
mrsjjj (1)		1										
mrrjju												
mrrjjk (35)	2	6	6	32	6	10	6	2	8	6	3	4
mrruuu												
mrrkkk (24)	6	1	5	9	10	21	3	3	4	10	1	7
nrsjjk												
mrrjjjj												
mrrklm												
mrrppp												
mrrjjf												
orrjjj												

Problème **8** : **mrs** >> **mrt**, **iiii** >> **?** (61 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
mrt												
iiit												
iiij (46)	9	10	46	5	16	11	6	11	3	7	3	3
iitt												
iijj (2)			1		2							
jjjj (12)		4	7	3	6	12	4		1	3	2	1
iiiii												
ijkl												
mrss												
tttt (1)	1	1	1		1	1		1	1	1		1
iiim												
mri												

Problème **9** : **ooe** >> **o**, **riippp** >> **?** (73 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
r (28)	27	15	11	4	1	3	4	3	1	1	4	2
i (10)	5	10	6	3	1		1	1	1	1	2	
p (20)	6	7	18	4	3			8	3	3	1	
ip (5)		1	3	4	5	2		3	2	1		
ipp (3)	1		1		3							
rip (5)	4	1	1	1	1	5						
rr												
pp (1)								1		1	1	
iippp												
ppp												
ii (1)	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
rrip												

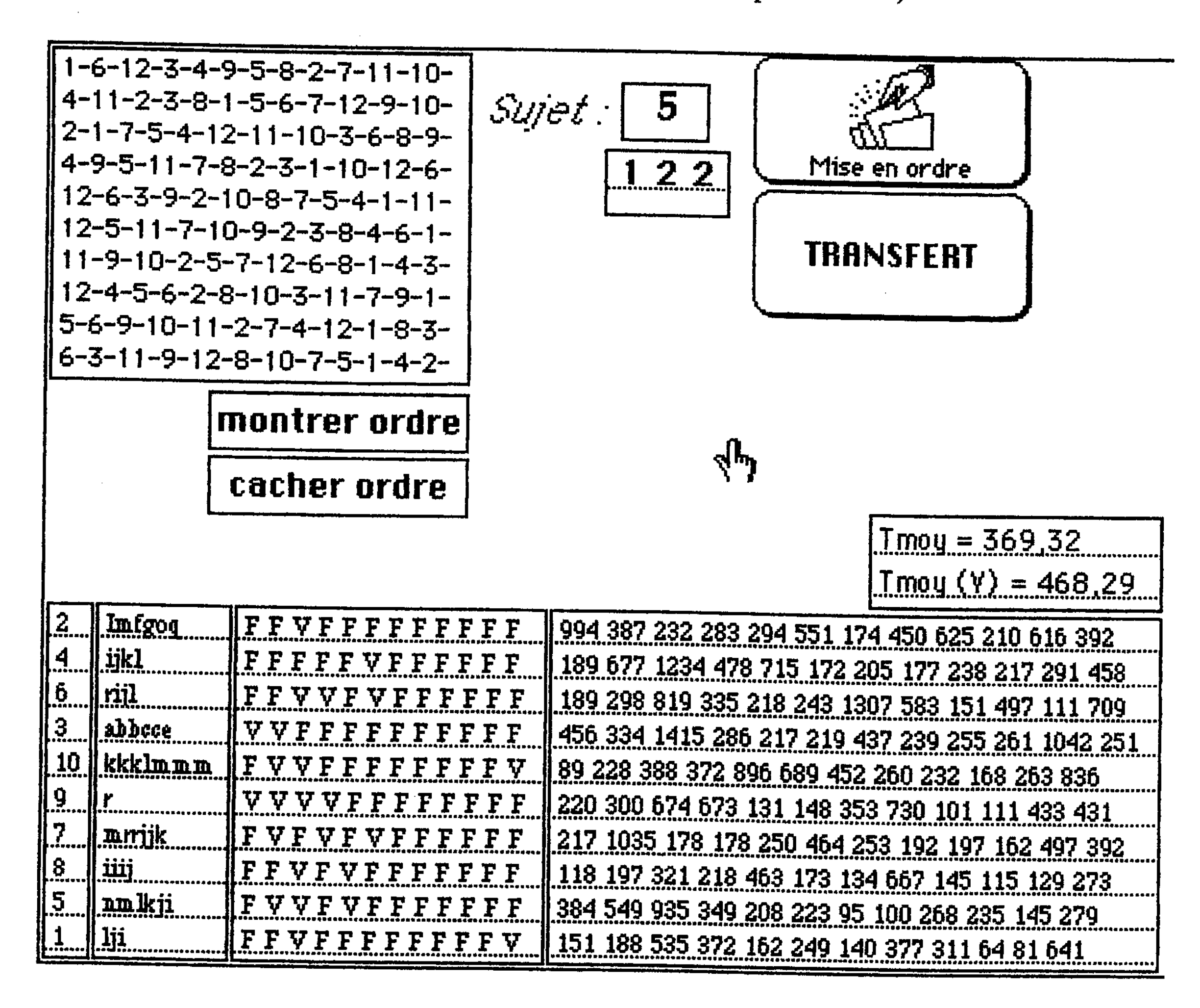
Problème **10** : **eqe** >> **qeq, aaabccc** >> **?** (42 sujets considérés)

Rép.—> Prop.	**P1**	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	**P8**	**P9**	**P10**	**P11**	**P12**
qeq												
bbbacbbb (12)	1	12	6	3	2	2	1	3		3		5
baaacccb (15)	6	9	14	2	4	3	2	5		2		6
abbbc (2)	1	1		2	1	1		1	2	1		1
cccbaaa (3)	1				2			1	1	1		
cacbcac												
abc (1)				1	1		1			1		
bbbabbb (2)	1	2	1		1		1	2	1			2
qqqeppp												
abcba												
qaaaeccccq												
bacb (7)	1	5	4	1	1	1	1	3	1	1		7

ANNEXE 5

Protocole du sujet n°35, condition 122

En haut à gauche : l'ordre de présentation des propositions, correspondant à chaque problème dans l'ordre dans lequel le sujet les a vus (la première ligne correspond à l'ordre de présentation des propositions du premier problème, le problème **2**).



1-6-12-3-4-9-5-8-2-7-11-10-
4-11-2-3-8-1-5-6-7-12-9-10-
2-1-7-5-4-12-11-10-3-6-8-9-
4-9-5-11-7-8-2-3-1-10-12-6-
12-6-3-9-2-10-8-7-5-4-1-11-
12-5-11-7-10-9-2-3-8-4-6-1-
11-9-10-2-5-7-12-6-8-1-4-3-
12-4-5-6-2-8-10-3-11-7-9-1-
5-6-9-10-11-2-7-4-12-1-8-3-
6-3-11-9-12-8-10-7-5-1-4-2-

Sujet : 5

1 2 2

Mise en ordre

TRANSFERT

montrer ordre

cacher ordre

Tmoy = 369,32

Tmoy (V) = 468,29

2	lmfgoq	F F V F F F F F F F F F	994 387 232 283 294 551 174 450 625 210 616 392
4	ijkl	F F F F F V F F F F F F	189 677 1234 478 715 172 205 177 238 217 291 458
6	rijl	F F V V F V F F F F F F	189 298 819 335 218 243 1307 583 151 497 111 709
3	abbcce	V V F F F F F F F F F F	456 334 1415 286 217 219 437 239 255 261 1042 251
10	kkklmmm	F V V F F F F F F F F V	89 228 388 372 896 689 452 260 232 168 263 836
9	r	V V V V F F F F F F F F	220 300 674 673 131 148 353 730 101 111 433 431
7	mrijk	F V F V F V F F F F F F	217 1035 178 178 250 464 253 192 197 162 497 392
8	iiij	F F V F V F F F F F F F	118 197 321 218 463 173 134 667 145 115 129 273
5	nmlkji	F V V F V F F F F F F F	384 549 935 349 208 223 95 100 268 235 145 279
1	lji	F F V F F F F F F F F V	151 188 535 372 162 249 140 377 311 64 81 641

En bas :
— le premier champ représente le numéro des problèmes et indique l'ordre d'apparition des problèmes (en premier, le problème **2**, en dernier le problème **1**);
— le deuxième champ représente les réponses produites à chaque problème;
— le troisième champ représenté les évaluations des propositions ("vrai" ou "faux") dans l'ordre 1-12 des propositions : par exemple, pour le premier problème, la troisième proposition est évaluée "vrai", mais est apparue en quatrième position (*cf*. le champ du haut);
— le quatrième champ représente les temps de réponse aux évaluations des propositions : ainsi, la troisième proposition précédente a été évaluée "vrai" en 232 tics.

Les boutons "mise en ordre" et "transfert" ont servis à l'élaboration des protocoles analysés dans le cadre de la TDS.